



# UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN

## CAPACIDAD PRODUCTIVA DE UN TEPETATE REGIEN ROTURADO Y TERRACEADO, CULTIVADO CON CEBADA (*Hordeum vulgare L.*) Y VEZA (*Vicia sativa L.*) EN CONDICIONES DE TEMPORAL

T E S I S  
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:  
INGENIERO AGRICOLA  
P R E S E N T A  
AURELIO BAEZ PEREZ

ASESORES: Dr. Christian Prat  
M. en C. Oscar Arellano Díaz  
Dr. José Luis Oropeza Mota



Universidad Nacional  
Autónoma de México



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

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

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

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



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTÓNOMA DE  
MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN  
UNIDAD DE LA ADMINISTRACION ESCOLAR  
DEPARTAMENTO DE EXAMENES PROFESIONALES

U. N. A. M.  
FACULTAD DE ESTUDIOS  
SUPERIORES

ASUNTO: VOTOS APROBATORIOS

DR. JAIME KELLER TORRES  
DIRECTOR DE LA FES-CUAUTITLAN  
P R E S E N T E .

DEPARTAMENTO DE  
EXAMENES PROFESIONALES

AT'N: ING. JAIME DE ANDA MONTAÑEZ  
Jefe del Departamento de Exámenes  
Profesionales de la FES-C.

Con base en el art. 28 del Reglamento General de Exámenes, nos permitimos comunicar a usted que revisamos el trabajo de tesis: "Capacidad productiva de un tepalcate recién roturado y terracedo, cultivado con cebada (Hordeum vulgare L.) y veza (Vicia sativa L.) en condiciones de temporal"

que presenta el pasante: Aurelio Bóez Pérez  
con número de cuenta: 8402233-8 para obtener el TITULO de:  
Ingeniero Agrícola

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

A T E N T A M E N T E .

"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"

Cuatitlán Izcalli, Edo. de Méx., a 5 de Enero de 1998

PRESIDENTE	<u>M. en C. Oscar Arellano Díaz</u>	
VOCAL	<u>Ing. Vicente Silva Carrillo</u>	
SECRETARIO	<u>Ing. Raúl Espinoza Sánchez</u>	
1er. SUPLENTE	<u>Biol. Elva Martínez Helguín</u>	
2do. SUPLENTE	<u>M. en C. Otilio Acevedo Sandoval</u>	

## **DEDICATORIAS**

A Dios por prestarme vida para concluir esta etapa.

A mis padres Pedro e Isabel, a quienes debo la vida.

A mis hermanos Irma, Germán Bernardo, Isabel, Carlos Alfonso, Natalia, Pedro, José Luis y Mario, quienes me dieron su apoyo incondicional.

A mis abuelos Leonides Aurelio y Genaro (q.p.d.), quienes dedicaron toda su vida al campo.

## AGRADECIMIENTOS

Al Dr. Christian Prat por su amistad, apoyo moral, económico y paciencia durante la etapa en que laboramos juntos. Por su dedicación, profesionalismo e inquebrantable amor por el trabajo.

Al M. en C. Oscar Arellano Díaz, amigo y compañero durante las etapas de estudiante y profesional. Por su orientación durante la etapa final del trabajo de tesis. Por su dedicación y entrega al trabajo.

A la Comunidad Económica Europea por el financiamiento otorgado, para realizar, este experimento, a través del proyecto “ Regeneración y conservación de suelos volcánicos, endurecidos y estériles de América Latina: Chile, Ecuador y México (ERB-TS3\* CT 930252)”.

A Alfonso Márquez, Brigida Chora y Elsa Martínez, quienes colaboraron durante la realización de este experimento, y por su amistad.

A Eduardo Ascencio Zapata y Rúben Villeda por su compañerismo, amistad y buen humor durante arduas jornadas de trabajo en campo y el laboratorio.

A los Doctores: Jorge Etchevers, Claudia Olechko, José Luis Oropeza, Hermilio Navarro, Ronald Ferrera, Claude Zebrowski, Paul Quantin, Uldrich Fester y Gerd Werner quienes han dedicado parte de su vida al estudio de los tepetates, y de los cuales tengo mucho por aprender.

A Diego Sánchez, Rosa María, Antonia Pérez, Berta Gutiérrez, Juliana Padilla, Hortensia Brito, Boun Ly Tieng, Isabelle Lepigeon, Garance Faugere, Lolita, Yann Leroux, Marc Lauffer, Alice Servenay, Brigitte Bartas y Jean Paul Lomme.

A los trabajadores de campo, de las Secciones de Física y Fertilidad de Suelos, del Programa de Edafología del Instituto de Recursos Naturales del Colegio de Postgraduados: Rubén, Elías, Anacleto, Hermilo, Pedro, Angel, Juan, Sóstenes . “El Joven” y “El Viejo”.

Y al grupo de sinodales que aportaron sus observaciones valiosas a éste escrito.

Y a todos aquellos que colaboraron e hicieron posible la realización de este experimento.

# INDICE

	página
<b>1. INTRODUCCION.....</b>	<b>1</b>
1.1. Objetivos.....	3
1.1.1. Objetivo general.....	3
1.1.2. Objetivos particulares.....	3
1.2. Hipótesis.....	3
<b>2. REVISION DE LITERATURA.....</b>	<b>4</b>
2.1 Los suelos volcánicos endurecidos llamados "tepetates".....	4
2.1.1. Medio físico.....	4
2.1.1.1. Geología.....	4
2.1.1.2. Clima.....	5
2.1.2. Caracterización de los tepetates.....	5
2.1.2.1. Origen.....	5
2.1.2.2. Clasificación de los tepetates en México.....	6
2.1.2.3. Características físicas y mineralógicas.....	7
2.1.2.4. Características químicas.....	8
2.1.2.5. Fertilidad de los tepetates.....	9
2.1.2.6. Erosión de los tepetates.....	10
2.2. Proceso de degradación de los suelos.....	10
2.2.1. Erosión del suelo.....	10
2.2.1.1. Erosión hídrica.....	10
2.2.1.2. Proceso de la erosión hídrica.....	11
2.2.2. Erosión del suelo en el Estado de México.....	11
2.2.3. Factores humanos que condicionan la erosión del suelo.....	11
2.2.3.1. Tala inmoderada y sobrepastoreo.....	12
2.2.3.2. Sistema socioeconómico.....	12
2.2.3.3. Abandono de parcelas.....	13

2.3. Rehabilitación agrícola de los tepetates.....	14
2.3.1. Labores de rehabilitación.....	14
2.3.1.1. Roturación.....	14
2.3.1.2. Terraceo.....	15
2.3.1.3. Conservación de bordos.....	15
2.3.1.4. Selección de cultivos alternativos.....	16
2.3.2. Importancia de la materia orgánica.....	16
2.3.3. Aplicación de abonos orgánicos y fertilizantes.....	18
2.4. Características generales de los cultivos alternativos.....	18
2.4.1. Cebada ( <i>Hordeum vulgare</i> ).....	18
2.4.2. Veza común ( <i>Vicia sativa</i> ).....	19
2.4.3. Asociación cebada-veza.....	19
<b>3. MATERIALES Y METODOS.....</b>	<b>20</b>
3.1. Características del sitio experimental.....	20
3.1.1. Localización del sitio experimental.....	20
3.1.2. Clima.....	20
3.1.3. Tipos de suelos del sitio experimental.....	20
3.1.4. Uso del Suelo del sitio.....	22
3.1.5. Descripción del perfil de la zona de estudio.....	22
3.2. Preparación de las terrazas.....	24
3.2.1. Selección del área de estudio.....	24
3.2.2. Roturación.....	24
3.2.3. Preparación del terreno.....	25
3.2.4. Nivelación.....	25
3.3. Cultivos utilizados en el experimento.....	27
3.3.1. Cebada ( <i>Hodeum vulgare</i> L.).....	27
3.3.2. Veza común( <i>Vicia sativa</i> L. ).....	27
3.4. Manejo agronómico.....	28



3.4.1. Siembra.....	28
3.4.2. Fertilización mineral.....	28
3.4.3. Fertilización orgánica.....	28
3.4.4. Cosecha.....	29
3.5. Prácticas agronómicas.....	29
3.6. Diseño experimental y análisis estadístico.....	29
3.7. Muestreo.....	30
3.8. Variables medidas.....	30
3.8.1. Tiempo de roturación.....	30
3.8.2. Granulometría.....	30
3.8.3. Variables climáticas.....	30
3.8.3.1. Precipitación.....	30
3.8.3.2. Temperatura.....	31
3.8.4. Esgurrimiento y sedimentos arrastrados.....	31
3.8.5. Componentes de rendimiento en el muestreo de forraje.....	32
3.8.5.1. Días al 50% de floración.....	32
3.8.5.2. Número de plantas, tallos y amacollamiento.....	32
3.8.5.3. Altura de planta.....	32
3.8.5.4. Rendimiento de forraje seco de cebada y veza.....	32
3.8.6. Componentes de rendimiento en el muestreo de grano.....	32
3.8.6.1. Número de plantas.....	32
3.8.6.2. Número de tallos y amacollamiento.....	33
3.8.6.3. Emisión de espigas.....	33
3.8.6.4. Peso de 100 granos.....	33
3.8.6.5. Número de granos m <sup>-2</sup> y granos por espiga.....	33
3.8.6.6. Rendimiento de grano de cebada.....	34
3.8.6.7. Biomasa aérea de cebada.....	34
3.8.6.8. Índice de cosecha de cebada.....	34

3.8.6.9. Rendimiento de grano de veza.....	35
3.8.6.10. Biomasa aérea de cebada-veza.....	35
3.8.6.11. Índice de eficiencia entre monocultivo y asociación.....	35
<b>4.RESULTADOS Y DISCUSION.....</b>	<b>36</b>
4.1. Tiempo de roturación.....	36
4.2. Granulometría.....	36
4.3. Variables climáticas.....	38
4.3.1. Precipitación.....	38
4.3.2. Temperatura.....	39
4.4. Medición del escurrimiento y pérdida de suelo.....	39
4.5. Parámetros evaluados en forraje.....	41
4.5.1. Floración al 50% en cebada.....	41
4.5.2. Número de plantas.....	42
4.5.3. Número de tallos y Amacollamiento.....	43
4.5.4. Altura de plantas en cebada.....	43
4.5.5. Rendimiento de forraje seco de cebada.....	43
4.5.6. Rendimiento de forraje seco de veza.....	44
4.5.7. Rendimiento de forraje seco de cebada-veza.....	44
4.6. Parámetros evaluados en grano.....	45
4.6.1. Número de plantas.....	45
4.6.2. Número de tallos y amacollamiento.....	46
4.6.3. Emisión de espigas.....	46
4.6.4. Peso de 100 granos.....	47
4.6.5. Número de granos m <sup>-2</sup> y granos por espiga.....	47
4.6.6. Rendimiento de grano de cebada.....	48
4.6.7. Biomasa aérea de cebada.....	51
4.6.8. Índice de cosecha de cebada.....	51
4.6.9. Rendimiento de grano de veza.....	51

4.6.10. Biomasa aérea de veza.....	52
4.6.11. Biomasa aérea de cebada-veza.....	53
4.6.12. Índice de eficiencia entre monocultivo y asociación.....	54
4.7. Discusión en función de los costos.....	54
<b>5. CONCLUSIONES.....</b>	<b>55</b>
<b>6. BIBLIOGRAFIA.....</b>	<b>56</b>
<b>7. APENDICE.....</b>	<b>66</b>

## LISTA DE CUADROS

Cuadro	Página
1. Características físicas de los tepetates.....	7
2. Características químicas de los tepetates.....	9
3. Distribución de los tepetates rehabilitados en la región de Texcoco, México.....	11
4. Características físicas del perfil P30 en San Miguel Tlaixpan, Texcoco, Estado de México.....	23
5. Características químicas del perfil P30 en San Miguel Tlaixpan, Texcoco, Estado de México.....	24
6. Características de las técnicas de rehabilitación utilizadas.....	25
7. Características de la variedad de cebada "esmeralda".....	27
8. Rendimiento de veza común en monocultivo sobre tepetate recién roturado en San Miguel Tlaixpan, Texcoco.....	27
9. Rendimiento de veza común asociada con avena, cultivada en el área de Chapingo, México.....	27
10. Composición química del estiércol de bovino utilizado.....	28
11. Tiempo de roturación y terraceo de las parcelas experimentales en San Miguel Tlaixpan, Texcoco.....	36
12. Resultados mensuales de escurrimiento y erosión en las terrazas experimentales en San Miguel Tlaixpan, Texcoco, durante 1993.....	40
13. Emisión de flores en cebada. San Miguel Tlaixpan, Texcoco.....	42
14. Resultados promedio de los parámetros evaluados en forraje de cebada y veza. San Miguel Tlaixpan, Texcoco, durante el ciclo agrícola 1993.....	42
15. Comparación de medias por la técnica de Tukey para altura de planta de cebada.....	43
16. Resultados promedio de los parámetros evaluados en grano de cebada y veza. San Miguel Tlaixpan, Texcoco, durante el ciclo agrícola 1993.....	45
17. Comparación de medias por la técnica de Tukey para emisión de espigas en cebada .....	47

18. Comparación de medias por la técnica de Tukey para peso de 100 granos en cebada.....	47
19. Comparación de medias por la técnica de Tukey para rendimiento de grano de cebada.....	48
20. Resultados globales del escurrimiento y erosión en San Miguel Tlaixpan, Texcoco, Estado de México, durante 1993.....	49
21. Comparación de medias por la técnica de Tukey para rendimiento de grano de veza.....	51
22. Comparación de medias según Tukey por la técnica de Tukey para biomasa aérea de veza.....	52
23. Resultados promedio de algunos parámetros evaluados en veza.....	53
24. Comparación de medias por la técnica de Tukey para biomasa aérea de cebada-veza.....	53
25. Comparación de medias por la técnica de Tukey para el índice de eficiencia entre monocultivo y asociación.....	54
26. Rendimiento de forraje, grano y costos de roturación y terraceo, a febrero de 1998.....	55

## LISTA DE FIGURAS

Figura	Página
1. Representación Nahuatl del tepetate.....	4
2. Toposecuencia de los tepetates.....	5
3. Localización del área de estudio.....	21
4. Perfil P30 en San Miguel Tlaixpan, Texcoco, Esado de México, a 2,555 msnm.....	23
5. Croquis de las parcelas experimentales, en San Miguel Tlaixpan, Texcoco, Estado de México.....	26
6. Esquema de las instalaciones de captación de agua y sedimentos en las parcelas experimentales.....	31
7. Tamaño de partícula después de la roturación desde 0 hasta 20 cm de profundidad.....	37
8. Tamaño de partícula después de la roturación desde 20 hasta 40 cm de profundidad.....	37
9. Comportamiento de las lluvias durante 1993 en San Miguel Tlaixpan, Texcoco.....	39
10. Temperatura media mensual, ciclo agrícola 1993. San Miguel Tlaixpan Texcoco.....	39
11. Rendimientos de forraje seco de cebada y veza.....	44
12. Rendimientos de grano de cebada y veza.....	52

## LISTA DE APENDICES

Apéndice	Página
1. Calendario de actividades durante 1993.....	66
2. Análisis de varianza de las variables de respuesta de los diferentes rangos de diámetros de partícula evaluados en la granulometría.....	66
3. Análisis de varianza de las variables de respuesta en la evaluación de forraje.....	67
4. Análisis de varianza de las variables de respuesta en la evaluación de grano.....	67
5. Temperaturas máximas y mínimas durante los meses de abril y mayo en San Miguel Tlaixpan, Texcoco.....	68
6. Temperaturas máximas y mínimas durante los meses de junio y julio en San Miguel Tlaixpan, Texcoco.....	68
7. Temperaturas máximas y mínimas durante los meses de agosto y septiembre en San Miguel Tlaixpan, Texcoco.....	68
8. Temperaturas máximas y mínimas durante los meses de octubre y noviembre en San Miguel Tlaixpan, Texcoco.....	69
9. Relación entre número de plantas y número de tallos en cebada.....	69
10. Relación entre número de plantas y amacollamiento en cebada.....	69
11. Volumen de lluvia y pérdida de nitratos.....	70
12. Coeficiente de escurrimiento y pérdida de nitratos.....	70
13. Índice de eficiencia entre monocultivo y asociación.....	70

## RESUMEN

El presente experimento tuvo como objetivo principal evaluar la capacidad productiva de un tepetate recién roturado, con cultivos alternativos. Se cuantificó el rendimiento de forraje y grano de cebada y veza, y algunos componentes como: floración al 50%, número de plantas y tallos, amacollamiento, emisión de espigas, altura de planta, peso de cien granos, número de granos, índice de cosecha, biomasa aérea e índice de eficiencia entre monocultivo y asociación. También se midieron otras variables que se relacionaron directamente con el desarrollo de los cultivos como: tamaño de partícula del tepetate roturado, temperatura, precipitación, escurrimiento y pérdida de suelo. Las actividades de campo se realizaron desde abril hasta diciembre de 1993 en San Miguel Tlaixpan, Texcoco, Estado de México. Se utilizó un diseño experimental de bloques al azar y tres repeticiones. Los tratamientos fueron técnicas agronómicas como roturación y establecimiento en monocultivo de cebada, y la asociación de éste más veza: roturación profunda + asociación (Rp+A), roturación simple + monocultivo (Rs+M), roturación simple + asociación + estiércol (Rs+A+E), roturación doble + asociación (Rd+A), roturación simple + asociación (Rs+A) y suelo + asociación (S+A). La cosecha se realizó en dos partes: la primera fue para estimar la producción de forraje en base seca a los 68 días de la siembra, y la segunda para estimar la producción de grano, la cual se efectuó a los 125 días de la siembra. Durante el desarrollo del experimento se presentaron algunos días con condiciones ambientales desfavorables. Las lluvias fuertes después de la siembra, provocaron arrastre semilla y formación de costras sobre la superficie del tepetate, que dificultó la germinación de las plantas, por lo que se realizó otra siembra. Las precipitaciones débiles y erráticas en gran parte de la estación de crecimiento, ocasionaron algunas disminuciones en altura de planta, emisión de espigas y mala calidad comercial del grano, principalmente en Rp+A y Rs+M. Los resultados obtenidos mostraron, que en los rendimientos de forraje de cebada y cebada-veza, no hubo diferencias significativas ( $P>0.05$ ). El mayor rendimiento de forraje seco se tuvo en Rs+A+E y S+A, con 5 y 5.9 t ha<sup>-1</sup>, respectivamente, y fueron desde 20 hasta 30% mayores que en los otros tratamientos. La veza tuvo poco crecimiento en el momento de la cosecha de forraje, y su rendimiento representó menos de 10% del rendimiento de forraje de cebada. En la cuantificación de grano de cebada, se detectó efecto de tratamientos ( $P<0.05$ ). Rs+A tuvo 3.1 t ha<sup>-1</sup>, y fue 48% mayor que Rp+A con el rendimiento más bajo, pero este fue similar con Rs+A+E, S+A, Rd+A y Rs+M. Aunque S+A y Rs+A+E tuvieron rendimientos de grano altos y presentaron un comportamiento consistente en cuanto a floración al 50%, número de tallos, amacollamiento, emisión de espigas y rendimiento de forraje seco, sus



producciones de grano fueron 16 y 19% respectivamente menores que Rs+A. El mejor tratamiento fue Rs+A, que tuvo mayor rendimiento de forraje y grano a menor costo. A pesar que una mayor profundidad de roturación puede proporcionar un mayor reservorio de agua, las alturas y la distribución en el tiempo de las precipitaciones, así como la formación rápida de costras en la superficie del suelo, limitaron la infiltración, ocasionando que el reservorio nunca se llene, además que su costo de roturación y terraceo fue 30% mayor. Con la roturación doble se pueden obtener resultados similares que en roturación simple, pero el costo se incrementa 50%, y el rendimiento de grano obtenido fue 29% menor que Rs+A. Con base en lo anterior se concluye que: el tepetate fue productivo cuando se emplearon cultivos alternativos como la asociación cebada-veza. Suelo más asociación y roturación simple más asociación más estiércol tuvieron mayores rendimientos de forraje, mismos que se reflejaron en sus componentes. Roturación simple más asociación y ésta más estiércol tuvieron mayores rendimientos de grano. La roturación profunda no aumentó los rendimientos de forraje y grano. No hubo diferencia de rendimientos de forraje seco y grano, entre roturación simple más asociación y roturación doble más asociación. Hubo una marcada tendencia, de que los rendimientos de forraje y grano de cebada, de las asociaciones con veza, fueron mayores que los obtenidos en roturación simple más monocultivo de cebada. Y al aplicar estiércol en las parcelas con roturación simple más asociación, el rendimiento de forraje fue mayor, siendo superado en rendimiento de grano, por roturación simple más asociación.

## SUMMARY

The main objective of this experiment was to evaluate the productive capacity of a recently ripped fragipan (tepetate) soil with crops alternatives. The yield of forage and grain of barley and vece was quantified, and some components such as: number of plants and stems, height of plants, weight of a hundred grains, number of grains, index of harvest, aerial biomass and efficiency index between single crop and mixed crops. Also others variables related directly with the development of the crops were measured: diameter of particle of ripped tepetate, temperature, rainfall, ripping and erosion. The field activities were carried out since april to december of 1993 in San Miguel Tlaixpan, Texcoco, México State. A random blocks design and three repetitions were used. The treatments were agronomics techniques and single crop of barley and association of barley plus vece, such as: deep ripping + association (Rp+A), simple ripping + single crop (Rs+M), simple ripping + association + manure (Rs+A+E), double ripping + association (Rd+A), simple ripping + association (Rs+A) and soil + association (S+A). The harvest was done in two parts: the first to assess the yield of forage at 68 days to the sowing and the second to assess the yield of grain and it was at 125 days to the sowing. During development on the experiment there were some days with unfavorable conditions. The strong rains after of the sowing caused of dragging of seed and crust formation on the tepetate surface, and hindered the germination process of the plants and another sowing was done. The weak rainfalls and sporadic in part of the station of growth, caused decrease in height of plants, emission of ears and quality bad commercial of grain, principally in Rp+A and Rs+M. The results obtained, showed in the production of barley and vece, did not detect significant differences. The greater production of fodder was in Rs+A+E and S+A with 5 and 5.9 t ha<sup>-1</sup>, respectivity and it was 20 up to 30% greater the other treatments. The vece had a lower growth rate in the moment of the harvest of forage and its production represented less of 10% of the production of forage of barley. In the quantification of grain of barley was detected the effect of treatments (P<0.05). Rs+A it was 3.1 t ha<sup>-1</sup> and it was 48 greater Rp+A with production more little, by this it was similar with Rs+A+E, S+A, Rd+A and Rs+M. Although S+A and Rs+A+E they had tall yields and they had a behaviour firm in flowering 50%, number stems, stems by plant, emission of ears and yield of forage, its productions of grain they was 16 and 19%,

respectively minor Rs+A. The butter treatment it was Rs+A, with great yield of forage and grain to minor cost. Although a grater deep of ripping, it can give a greater deep of breakingre reserve of water, the height and distribution in the time at rains, as soon the formation fast of crusts in the surface soils, they limited the infiltration, causing or limiting they reserve of water and its cost it was 30% grater. In double ripping there were similar results with simple ripping, but its cost it was 50% more and the yield of grain it was 29% less Rs+A. With base in previous its conclusion: tepetate was productive in the experiment, using alternatives crops as barley and vece.

## 1. INTRODUCCION

En México existe un material conocido localmente como "tepetate", vocable que se deriva de la lengua Nahuatl: *tepetlatl*, cuyas raíces "*tepl*" =piedra y "*petlatl*"=petate, significan: piedra semejante al petate. Este término alude a los horizontes duros y compactos que se formaron a partir de materiales piroclásticos de antiguos depósitos de cenizas volcánica, con edad desde 20 hasta 40 mil años (Mielich, 1992). Guerrero *et al.* (1992) mencionaron que los tepetates cubren en el país aproximadamente 11.6% del territorio nacional, mientras que en el Eje Neovolcánico donde son muy abundantes, Peña y Zebrowski (1993), informaron que los tepetates cubren 30,700 Km<sup>2</sup>.

Aproximadamente 65% del territorio del Estado de México tiene topografía accidentada, de la cual 14,163 ha corresponden a pie de monte, que son zonas fisiográficas donde se encuentran los tepetates a una altitud comprendida entre 1,800 y 2,900 de altitud (GIT, 1993). Una quinta parte de la superficie del Estado de Tlaxcala esta afectada por la erosión, pero es aun más grave, pues 54% de su territorio está en peligro de afloramiento de zonas tepetatosas (Werner, 1992).

El afloramiento de los tepetates es el resultado de un proceso de erosión irreversible, el cual se da en una pequeña parte de forma natural, y otra es provocada por el mal manejo de los suelos por la sobre-explotación forestal, sobrepastoreo, quema, cambios de uso y mal manejo al cultivar el suelo sobre pendientes (Navarro y Prat, 1995). Esto ha provocado la pérdida de las capas superficiales, dejando al descubierto grandes extensiones de tepetates. Estos materiales por sus características de dureza, baja tasa de infiltración, pobre fertilidad y alta erosionabilidad no son aptos para la agricultura en dichas condiciones (Ortiz y Cuanalo, 1977), lo que representa un grave problema para las comunidades que allí habitan. Los campesinos afectados, al no contar con su principal medio de subsistencia, ni con un apoyo técnico-económico para rehabilitar sus tepetates, se ven obligados a abandonar las parcelas para dedicarse a otras actividades y hasta emigrar a las grandes ciudades en busca de mejores opciones de vida, aumentando así la problemática social de los medios urbanos. Sin embargo, es factible incorporar los tepetates a la agricultura mediante prácticas de manejo adecuadas como roturación, terraceo, adición de fertilizantes minerales y orgánicos y siembra de cultivos adecuados (Werner, 1992).

En México se ha hecho investigación profunda de los tepetates sobre su origen, su localización, su clasificación, su composición físico-química, su erosionabilidad y un poco sobre su productividad agrícola. Estos estudios han sido realizados

principalmente por el programa de investigación UE-ORSTOM-CP-UAT-UG<sup>1</sup> a partir de 1988. Sin embargo, hay poco conocimiento en cuanto al manejo agronómico. La incorporación agrícola de los tepetates tiende a ser un proceso lento, por ello es necesario definir parámetros que indiquen resultados favorables a corto plazo. Este trabajo retoma la información obtenida de otros estudios agronómicos anteriores, y considera en su metodología el modo de producción campesina. La finalidad fue comparar los efectos de distintos modos de roturación, sistemas agrícolas y métodos de siembra sobre tepetate recién roturado y cultivado por primera vez, y definir cuáles son las mejores opciones de manejo.

---

<sup>1</sup> UE: Union Europea; ORSTOM: Instituto de Investigación Científica para el Desarrollo en Cooperación (Francia); CP: Colegio de Postgraduados en Ciencias Agrícolas de Montecillo (México); UAT: Universidad Autónoma de Tlaxcala (México); UG: Universidad de Giessen (Alemania).

## **1.1. Objetivos**

### **1.1.1. Objetivo general**

1. Evaluar la capacidad productiva de un tepetate recién roturado con cultivos alternativos.

### **1.1.2. Objetivos particulares**

2. Evaluar el rendimiento de forraje y sus componentes, en cebada y su asociación con veza, cultivados en un tepetate recién roturado
3. Cuantificar el rendimiento de grano de cebada y veza, cultivados en un tepetate recién roturado.

## **1.2. Hipótesis**

1. Con roturación profunda, al proporcionar un mayor reservorio de agua, se aumentan los rendimientos de forraje y grano.
2. Existe diferencia en rendimientos de forraje y grano de cebada, entre roturación simple y roturación doble.
3. Los rendimientos de forraje y grano de cebada aumentan al asociarla con veza.
4. La aplicación de estiércol proporciona nutrimentos esenciales, por lo que se aumenta el rendimiento de forraje y grano de cebada.

## 2. REVISION DE LITERATURA

### 2.1. Los suelos volcánicos endurecidos llamados "tepetates"

En los países Latinoamericanos, los suelos volcánicos que presentan en sus perfiles horizontes endurecidos, han sido designados con nombres comunes muy diversos, por ejemplo: soilcrete en E.U, talpetate en Nicaragua; hardpan, duripán y cangahua en Colombia y Ecuador; cancagua, moromoro, mosca y nadis en Chile, kora y masa en Japón y tepetate en México (Zebrowski, 1992 a).

La palabra "tepetate" proviene del vocablo que se deriva de la lengua Nahuatl: *tepetlatl*, cuyas raíces *tetl*"=piedra" y *petlatl*"=petate, significan: piedra semejante al petate. Este era representado por los antiguos Nahuas como se muestra en la Figura 1 (Williams, 1992). Los tepetates son horizontes cementados de consistencia friable, con textura que va desde arcilla hasta grava fina, originados de cenizas volcánicas. Por extensión se llama tepetates a los suelos que contienen estos horizontes endurecidos, los que pueden estar situados a profundidades variables. Dichos horizontes afloran a la superficie después de que las capas sobreyacentes han sido removidas por procesos erosivos.



Figura 1. Representación Nahuatl del tepetate

(Williams, 1992).

#### 2.1.1. Medio físico

##### 2.1.1.1. 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 provocando 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 msnm), Iztaccíhuatl (5230 msnm) y Popocatepetl (5,465 msnm). Aproximadamente 65% de la superficie del Estado de México tiene topografía accidentada que representa 1,400,200 ha con

lomerfos (GIT, 1993). Los tepetates en los Valles Centrales de México y Tlaxcala se encuentran situados en tres tipos de geoformas que son accidentadas, como: pie de monte, 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 msnm, sin embargo es posible encontrarlos desde 1,800 hasta 3,400 msnm (Figura 2) (Peña y Zebrowski, 1993).

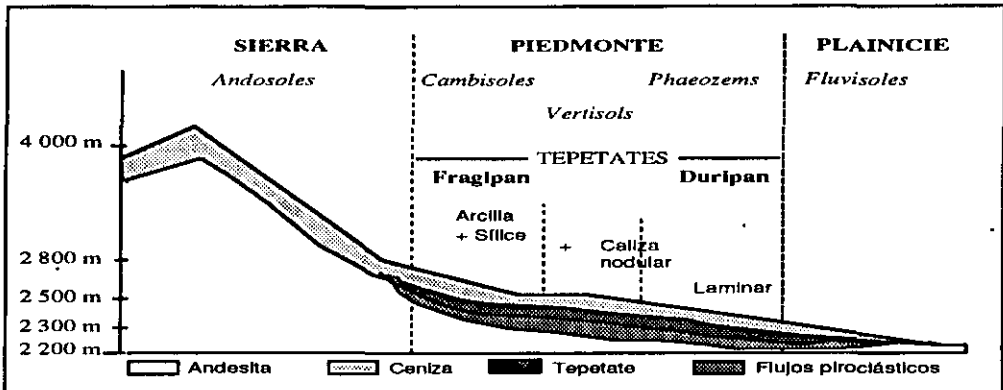


Figura 2. Toposecuencia de los tepetates.

Fuente: Quantin *et al.*, 1993.

### 2.1.1.2. 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).

## 2.1.2. Caracterización de los tepetates

### 2.1.2.1. 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 b) 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 (1994) investigó que bajo condiciones climáticas secas el sílice no está en cantidades suficientes como para servir de cementante, mientras que en climas más húmedos sí puede actuar como cementante.

### 2.1.2.2. Clasificación de los tepetates en México

Desde el punto de vista de la Soil Survey Staff (1975) los tepetates están clasificados según su grado de dureza como fragipanes y duripanes. Valdés (1970) y Pacheco (1987) hicieron una clasificación morfológica y mineralógica de los tepetates de la cuenca de México, y los clasificaron de acuerdo a su color como: blanco, amarillo y rojo. Aeppli y Schonhals (1975) identificaron y describieron en 4 series los materiales de los piedemontes occidentales de la Sierra Nevada. Peña y Zebrowski (1993), retomaron esta información al efectuar el levantamiento de los suelos del oriente del valle de México, con el fin de identificar los tepetates. Estos mismos autores definieron las siguientes series:

1. Capa Holocena (H): Es un horizonte superficial que cubre la totalidad de los suelos, excepto a los andosoles y los suelos aluviales, del estado de Tlaxcala. Tiene un espesor desde 20 hasta 30 cm, que puede llegar hasta 80 cm, con textura arenosa y franca. Se caracteriza por presentar numerosos artefactos humanos tales como fragmentos de ladrillo y de obsidiana labrada, por lo que se denominó Holocena. El origen de esta capa es eólico-coluvial y la fuente fue el Popocatepetl (Quantin, 1992).
2. Serie T1: Son depósitos amarillos, muy friables presentes en la vertiente oriental de la Sierra Nevada a una altitud de más de 2,500 msnm. Su edad varía desde 12,000 hasta 20,000 años (Miehlich, 1992). En las zonas más secas, la parte inferior de estos depósitos presenta un nivel ligeramente endurecido llamado tepetate incipiente.
3. Serie T2: Tiene desde 1 hasta 2 m de espesor. La superficie la conforma un suelo arcilloso vértico, de color gris oscuro denominado como cambisol vértico. Por debajo de éste se encuentra un horizonte blanquecino, masivo y duro. La edad de estas formaciones fluctúa desde 12,600 hasta 13,000 años.
4. Serie T3: Corresponden a un conjunto de varios metros de espesor con un color ligeramente rojizo o café, que permite distinguirlos fácilmente de la serie T2. Es una superposición de capas más duras llamadas tepetates, con desde 2,000 hasta 4,000 años. Existe la presencia de la serie T3 en la vertiente occidental de la Sierra Nevada, habiéndose formado una capa más reciente en 2,500 años. Esta se encuentra ubicada a lo largo de la autopista México-Puebla.

Quantín *et al.* (1993) argumentó que los tepetates no deben ser clasificados según su color o dureza aparente, ya que éstas son características imprecisas. El autor propone tres criterios de clasificación con bases científicas más sólidas:

1. Estatigráfico. Aunándolos a la serie de depósitos y designándolos como t2a, t2b, t3, etc., o ti si es indeterminado.
2. De consistencia. Ya sea de fragipán (friable en estado húmedo), o duro permanentemente (duripán).
3. Acumulación calcárea. Presencia o no de horizontes petrocálcicos en forma de encostramiento laminar.

Con base en lo anterior propuso una clasificación de cinco tipos distintivos de tepetate en México llamados: t3 con y sin CaCO<sub>3</sub>, t2 con y sin CaCO<sub>3</sub>, y ti con CaCO<sub>3</sub>.

### 2.1.2.3. Características físicas y mineralógicas

En el Cuadro 1 se presentan los resultados de un estudio reciente de caracterización física y mineralógica de los tepetates representativos de las cuencas de México y Tlaxcala, hecho por Peña y Zebrowski (1992).

**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 %	Em 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 CaCO <sub>3</sub>	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
	P13	1.23	2.28	44.6	†	33.3	†	11.3	†	54	†	†	†	†
Media	p35	1.35	2.34	40.1	38.1	28.8	†	11.3	†	49	55.2	51.4	0.93	40.9
		1.32	2.44	38.8	36.2	29.2	33.7	10.3	2.5	50.2	54.0	48.4	0.89	41.0
t3 con CaCO <sub>3</sub>	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
	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
Media	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
		1.47	2.34	24.6	22.3	17.2	20.5	7.3	3.8	44	38.1	32.8	0.86	26.0
t2 sin CaCO <sub>3</sub>	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
	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
Media	P35	1.47	2.36	28.3	24.9	17.9	†	10.4	†	45	44.4	36.6	0.82	30.2
		1.44	2.38	30.1	27.7	18.9	25.0	11.2	4.1	46	50.6	39.9	0.79	35.1
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	K15a	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.

Fuente: Peña y Zebrowski(1992 a).

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 x CC de bloques cúbicos).

pF: Retención de humedad, CC: Capacidad de campo.

HBS: Humedad de bloques saturados, †: no registrado.

La densidad aparente ( $D_a$ ) presentó valores entre 1.16 y 1.55. La densidad real ( $D_r$ ) fue desde 2.34 hasta 2.44, los cuales fueron considerados como valores bajos. Se encontró que los tepetates con carbonatos de calcio tuvieron densidades más altas, y la porosidad total fue más elevada en los tepetates sin carbonatos de calcio y principalmente en los tepetates de la serie t3.

**Color.** La serie T3 se caracteriza por presentar colores intensos, variando de amarillo a pardo, mientras que en la serie T2 fueron colores claros, dentro del gris claro y blanco, y los T1 variaron de pardo a amarillento. Los revestimientos de arcilla más abundantes en muestras de serie T3, acentúan el color rojizo y en general no cambian de color con la humedad.

**Estructura.** La estructura presenta muchas variaciones que dependen de la condición del tepetate; como columnar en la serie T2, bloques y prismas en la serie T3, y de la presencia o no de carbonatos que forman bloques poliédricos y cuadrados cubiertos por láminas sub-horizontales de caliche. Los tepetates que no contienen carbonatos consisten en depósitos consolidados y poco alterados. En T3 es mayor que en T2, a tal grado que sólo han alcanzado a desarrollar sub-estructuras.

**Consistencia.** Todos los tepetates fueron muy duros en estado seco, y en estado húmedo, los que no tuvieron carbonato fueron más frágiles que los que presentaron; por ello a los primeros se les clasificó como fragipanes, mientras que los segundos estrictamente no han sido clasificados como duripanes por falta de pruebas complementarias.

**Revestimientos.** En general, los tepetates presentaron revestimientos de arcillas, tanto dentro de los poros, como sobre las caras de sus fragmentos, los cuales fueron más abundantes en la serie T3 sin carbonatos.

**Textura.** De los tepetates sin carbonatos, los T3 fueron más arcillosos que los T2, mientras que los tepetates con carbonatos muestran textura más arenosas.

**Densidad aparente y real, y porosidad.** La  $D_r$  tuvo valores que variaron desde 2.27 hasta 2.47  $\text{g cm}^{-3}$ , Avila (1963) informó valores desde 2.40 hasta 2.49  $\text{g cm}^{-3}$ . Para ambos casos se consideraron bajos. En relación a la  $D_a$ , los tepetates presentaron valores que variaron desde 1.23 hasta 1.55. La porosidad total del tepetate sin  $\text{CaCO}_3$  calculada con  $D_r=2.65$ , fue más baja que aquella determinada a partir del contenido de agua del bloque saturado.

#### 2.1.2.4. Características químicas

En el Cuadro 2 se presenta un estudio de caracterización química de los tepetates realizado por Etchevers *et al.* (1992a). Se observó que todos los tepetates,

independientemente de su clasificación, presentaron  $\text{CaCO}_3$  uniformemente distribuido en la masa o en forma laminar. Este varió desde 1.4 hasta 14.2%, dependiendo de la naturaleza del material parietal y de las condiciones del clima en que evolucionaron. Estas diferencias explican parcialmente la dureza de estos materiales y las deficiencias de micronutrientes. 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.

**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.

Fuente: Etchevers *et al.*, 1992.

‡: 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.

### 2.1.2.5. Fertilidad de los tepetates

Los principales problemas de nutrición 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 nutrientes pueden ser corregidas con adiciones de fertilizantes químicos y orgánicos, sin embargo, Navarro (1992) informó 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 nutrientes, es la poca presencia de microorganismos, los cuales se encuentran en poblaciones muy bajas. Alvarez (1992) encontró en tepetates vírgenes  $2.3 \times 10^4$  bacterias,  $11.8 \times 10^3$  actinomicetos y  $6.57 \times 10^1$  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, 1992).

#### **2.1.2.6. Erosión de los tepetates**

Los tepetates tienen alto potencial de escurrimiento superficial y bajas tasas de infiltración, lo que los hace muy susceptibles a la erosión hídrica.

Los estudios sobre la erosión en México son realizados generalmente en parcelas de tipo Wischmeier. Estas parcelas de referencia, cuyo tamaño de  $22 \times 2$  m, es muy utilizado en México para obtener datos necesarios para establecer los diferentes coeficientes de la ecuación "universal" de pérdida de suelo (Kirkby y Morgan, 1994) a fin de adoptar esta metodología a las condiciones del país, y de esta manera tener un marco de comparación con resultados obtenidos en otros lugares del planeta. Arias *et al.* (1992) a partir de esta metodología, demostraron que la pérdida de suelo anual para tepetates cafés no roturados, puede ser más de  $16 \text{ t ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ , y desde 6 hasta  $13.8 \text{ t ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$  para tepetates cultivados. Prat y Báez (1995) evaluaron directamente la erosión del tepetate en terrazas desde 500 hasta  $1800 \text{ m}^{-2}$ . En tepetate sin roturar obtuvieron valores de erosión de más  $32 \text{ t ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ , y en tepetates cultivados desde 1 hasta  $20 \text{ t ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ .

### **2.2. Proceso de degradación de los suelos**

#### **2.2.1 Erosión del suelo**

La erosión se define como el proceso de remoción, desprendimiento, transporte y deposición de las partículas individuales de la masa del suelo de un lugar a otro, por la acción de agentes erosionantes como son el viento y el agua (Figueroa, 1991).

##### **2.2.1.1. Erosión hídrica**

El agente más importante para el desprendimiento de las partículas del suelo en el caso de la erosión hídrica, son las gotas de lluvia. Como resultado del golpeteo de éstas sobre una superficie desnuda, las partículas del suelo son proyectadas a

distancias variables. En éste proceso también intervienen factores naturales como son: el humedecimiento y secado, congelamiento y deshielo, los cambios de temperatura y factores como la labranza y el pisoteo de los animales (Figueroa, 1991).

### 2.2.1.2. Proceso de erosión hídrica

La lluvia compacta la superficie del suelo y disminuye la infiltración; como consecuencia se presenta el escurrimiento. Dependiendo de la intensidad de lluvia y la pendiente, el escurrimiento puede incrementar su velocidad de flujo y formar pequeños canalillos, que a su vez provocan un desprendimiento de partículas mayores, que dan lugar a la formación de cárcavas y el deterioro total del suelo (Figueroa *et al.*, 1991).

### 2.2.2. Erosión del suelo en el Estado de México

El Estado de México tiene una superficie de 2,146,300 ha y esta situada dentro de una zona de gran actividad volcánica. Esta se distribuye en tres zonas fisiográficas que son: sierra, lomeríos, valles y mesetas. El 65% corresponde a sierras y lomeríos. Estas áreas se encuentran densamente pobladas, y los efectos de los desmontes para fines agrícolas y pecuarios, han sido particularmente graves. Debido a sus condiciones topográficas y al mal manejo de los suelos cultivados, existen en la actualidad áreas completamente erosionadas. La SARH (1988) estimó que el 25% de la superficie del Estado de México se encuentra erosionada.

En la región de Texcoco, las áreas erosionadas en su mayoría dan como resultado el afloramiento de tepetates, el cual cubre una superficie de 14,200 ha (Cuadro 3). Se ha estimado que hay en Texcoco 9,000 ha de tepetate que pueden ser roturadas para uso agrícola o forestal (GIT, 1993).

**Cuadro 3. Distribución de los tepetates rehabilitados en la región de Texcoco, México.**

Tipo de rehabilitación	hectáreas
Con fines forestales	4 200
Con fines pecuarios	200
Con fines agrícolas	800
Tepetate sin rehabilitar	9 000
<b>Superficie total con tepetates</b>	<b>14 200</b>

Fuente: GIT, 1993.

### 2.2.3. Factores humanos que condicionan la erosión del suelo

En el llamado Eje Volcánico Transversal, están asentadas muchas poblaciones rurales que han modificado el ecosistema que los rodea, y en mayor grado en las áreas más pobladas. Las regiones con mayor problema de erosión se encuentran en la zona templada sub-húmeda, la cual comprende gran parte del eje neovolcánico. En

esta zona se ha calculado la erosión en los siguientes estados: Tlaxcala con 54%, Guanajuato con 43%, Michoacán con 36%, Jalisco y Estado de México con 25%, y Aguascalientes con 24% (INEGI, 1988).

### **2.2.3.1. Tala inmoderada y sobre pastoreo**

Existen indicios de que en los estados de México y Tlaxcala en gran parte de las zonas erosionadas de las laderas de los valles, fueron influenciadas por las poblaciones precolombinas y precoloniales (Ramírez, 1989; Martínez y Romero, 1991). La transformación del bosque a tierras de cultivo fue un proceso que duró varios siglos, pero después de la conquista de los españoles este proceso se intensificó con la introducción del arado, la ganadería y el pastoreo. El aumento de población y la expansión de las haciendas a partir de los siglos XVII y XVIII aumentó la demanda de áreas cultivables. También propició mayor demanda en la explotación de madera como material de construcción, combustible y elaboración de carbón. Finalmente hubo un cambio radical del paisaje. En la actualidad la explotación forestal aún cuando ha sido vetada y reglamentada, es más intensa que antes, debido al incremento de la demanda de los más de 18 millones de habitantes del D.F. y zona Metropolitana (INEGI, 1990). De los 9,815,795 habitantes con que cuenta el Estado de México, 40% corresponden a población rural.

### **2.2.3.2. Sistema socioeconómico**

Desde tiempos prehispánicos la zona que hoy se conoce como Eje Neovolcánico, ha estado sometida a una gran presión demográfica. Es común encontrar en estas zonas que hoy se encuentran erosionadas y deshabitadas, partes de cerámica, utensilios de obsidiana y restos arqueológicos como acueductos, viviendas, y terrazas abandonadas (Martínez y Romero, 1991). Según Gerhard (1986) la región de influencia de Texcoco, en tiempos de la conquista, tenía probablemente 100,000 tributarios, los cuales vivían de la agricultura que practicaban bajo un sistema de riego en terrazas. El mismo autor mencionó que el número de tributarios descendió hasta 1,565 en el año de 1643 debido principalmente a guerras y enfermedades, sin embargo, esta cifra aumentó en 1802 hasta 7,546 tributarios. Después de la colonia se instauraron nuevas formas de aprovechamiento de los recursos naturales. La explotación de los recursos forestales y pecuarios se destinaron principalmente a la ciudad de México, la cual comenzaba a crecer. Aunque se introdujeron nuevos implementos agrícolas como el arado; en esta ocasión no se implementaron medidas de protección en el suelo. Los sistemas de producción empleados ocasionaron una erosión muy severa y el proceso de afloramiento de tepetates fue incrementado drásticamente.

El período desde 1910 hasta 1924 se caracterizó por una inestabilidad social debido a la revolución. En el caso de Texcoco sus habitantes que trabajaban para la hacienda de Chapingo y para la fábrica de vidrio de la hacienda de Tierra Blanca, tomaron parte de las fincas y se dedicaron a explotar el bosque. Desarrollaron una agricultura de autoconsumo basada en la producción de maíz, frijol y trigo principalmente, posteriormente, con la legalización del ejido la explotación forestal se intensificó a tal grado que junto con la agricultura representaban 90% de la economía familiar, mientras que el trabajo asalariado sólo representaba 10%, pero después esta economía se vio truncada por la veda forestal que se decretó en 1940 (Olivares y Márquez, 1992). Con el aumento de la población, el trabajo asalariado comenzó a tener mayor importancia.

En el transcurso de los años 60 con la revolución verde, se introdujeron fertilizantes químicos y tractores. En muchos casos los pequeños latifundios no justifican grandes inversiones, y es necesario rentar la maquinaria, o bien, continuar con la utilización de implementos por tracción animal. Por otra parte las constantes reformas económicas del país y la falta de técnica, no han permitido un desarrollo más sustentable de la agricultura.

En la actualidad en muchas comunidades como Santa Catarina del Monte, la agricultura se ha vuelto una actividad de fin de semana, en donde los ancianos son los que poseen las tierras pero todos los trabajos agrícolas son realizados por los jóvenes durante los fines de semana, ya que entre semana trabajan en la ciudad (Ly, 1993). En ésta comunidad, aproximadamente 10% de la población depende económicamente de la agricultura en invernaderos, 12% de la música y el resto de la población activa se dedica a otras actividades como la elaboración de arreglos florales, artesanías con ramas, trabajos de oficina, o bien, empleados en el sector industrial. La agricultura en este pueblo corresponde en promedio desde 10 hasta 15% del ingreso total anual, siendo ésta solamente una actividad secundaria de su economía familiar. En otro estudio de comunidad, que se encuentra muy cercana de Santa Catarina, Olivares y Márquez (1992) mencionaron que en la comunidad de San Pablo Ixayoc, municipio de Texcoco, 78% de las familias reciben actualmente ingresos permanentes por concepto de trabajo asalariado y 11% por trabajo asalariado temporal. Las familias generalmente son extensas lo que permite la posibilidad de contar con más miembros asalariados.

### **2.2.3.3. Abandono de parcelas**

Con base en lo anterior es fácil suponer que los agricultores no tienen solvencia económica para tratar de hacer producir los tepetates, pues su incorporación a la



agricultura requiere de un alto costo y los campesinos prefieren abandonar las parcelas para dedicarse a otras actividades. Ly (1993) mencionó que muchas veces la ganancia que obtienen los campesinos en el exterior como asalariados, es mucho mayor que la que pueden obtener con la actividad agrícola, aun con la ayuda de programas de desarrollo rural como PROCAMPO que a partir de 1994 comenzó a apoyar económicamente con \$ 350 ha<sup>-1</sup> a campesinos. Sin embargo, este incentivo no ha sido suficiente para que la agricultura de subsistencia sea una actividad rentable, pues los precios de garantía también bajaron. De este modo los campesinos prefieren emplearse en un trabajo de ciudad, que les asegure una entrada de dinero cada semana o quincena, además de prestaciones importantes como el seguro social.

### 2.3. Rehabilitación agrícola de los tepetates

#### 2.3.1. Labores de rehabilitación

##### 2.3.1.1 Roturación

La roturación consiste en la remoción mecánica de la capa endurecida para favorecer la penetración de las raíces de las plantas, aumentar el espesor de los suelos y la capacidad de retención de agua para incorporarlos al uso agrícola o forestal. Estas prácticas eran realizadas por las antiguas civilizaciones precolombinas, quienes esperaban la épocas lluviosas cuando el tepetate se reblandecía con el agua, y entonces era posible roturarlo a pico y pala (Hernández, 1987). En la actualidad existe maquinaria con la que es posible roturar a más de 60 cm de profundidad. El proceso de roturación es una etapa determinante en el comportamiento de la producción posterior de los cultivos. Werner (1992) explicó que los tepetates recién roturados carecen, en el primer año, de la cantidad suficiente de poros medios que miden desde 0.2 hasta 10  $\mu\text{m}$ , en cambio aumentan los poros grandes mayores que 120  $\mu\text{m}$ . La porosidad total puede ser desde 50 hasta 60%, de ésta 20% son poros gruesos, 20% son poros medianos y 10% son poros finos.

El diámetro de agregados que se pueden obtener a partir de una roturación convencional con un Caterpillar D7 o D8 son: 40-45% de partículas inferiores a 2 mm diámetro, 15% de partículas entre 31.7 y 11.5 mm, 15% de partículas entre 11.5 y 4.8 mm, 20% de partículas entre 31.7 y 11.5 mm y 10 a 15% de partículas mayores de 31.7 mm. Quantin *et al.* (1993) mencionaron que todas las partículas mayores que 2 mm son estables, pero los fragmentos desde 3.4 hasta 2.4 mm de diámetro constituyen el agregado óptimo con estabilidad de 98%, velocidad de infiltración máxima sin efecto de oclusión de poros y elevada capacidad de retención de agua. Sin embargo, estudios de mediciones y observaciones en campo (Lauffer y Leroux, 1996)

demonstraron que éste tamaño es demasiado pequeño para resistir las primeras lluvias.

### 2.3.1.2. Terraceo

Para la incorporación de los tepetate a la producción agrícola, es muy importante la construcción de las terrazas como alternativa para el control de la erosión, pues se delimita el terreno para tener control tanto en longitud como en pendiente. De este modo se pueden retener agua y sedimentos, y drenar cuando hay exceso de agua. Su construcción es una de las prácticas más antiguas y se realiza más o menos de forma horizontal siguiendo o no las curvas de nivel del terreno (Ruíz, 1979). Se delimitan por bordos que pueden ser construidos por montículos de tierra, muros de piedra, o bien por algunas especies vegetales como árboles, magueyes, nopales, etc.

La práctica de roturación de tepetates en México a nivel de programas gubernamentales de desarrollo agrícola, en ocasiones no se hace de la manera más adecuada, caso concreto de algunos trabajos hechos por Maquinaria para Tepetate del estado de Tlaxcala (MATET). Los principales problemas que tienen los agricultores con terrazas de tepetate recién roturadas son: pendiente excesiva, que provoca grandes escurrimientos durante las épocas lluviosas, y a la vez un rápido deterioro de las parcelas; profundidad de roturación discontinua, de modo que se marca un gradiente de mayor a menor en función de la pendiente; y por último la mala nivelación de los terrenos que provocan encharcamientos.

### 2.3.1.3 Conservación de bordos

Después de roturar y la construir terrazas es importante implementar medidas de conservación que permitan mantener éstas en buen estado y de forma permanente. Los bordos de las terrazas construidos con tierra son muy erosionables si se dejan al descubierto, ya que tienen pendiente muy pronunciada y quedan expuestos a un constante arrastre de partículas ocasionado por la escorrentía. La conservación de los bordos es posible mediante la siembra de especies de plantas como nopal (*Opuntia sp*), maguey (*Agave atrovierens*), agapando (*Agapanthus africanus*) y árboles en general. Estas especies son utilizadas comúnmente en los estados de México, Tlaxcala e Hidalgo. El cultivo de los bordos permite la utilización de especies que pueden ser aprovechados para obtener alguna utilidad. Por ejemplo, del maguey se pueden obtener productos como el pulque, bebida alcohólica; mixiote como envolturas para barbacoa, gusano de maguey como platillo de primera mesa, quiotes que sonidos de pájaro y la misma inflorescencia para consumo humano<sup>2</sup>.

---

<sup>2</sup> Experiencia laboral del autor

### 2.3.1.4. Selección de cultivos alternativos

El maíz es una de las plantas que más cultivan los agricultores de las regiones de los estados de México y Tlaxcala, donde se han hecho estudios sobre tepetate. Sin embargo, en algunos experimentos agronómicos se demostró que el maíz no fue una buena opción para cultivarlo en tepetate recién roturado, pues su rendimiento fue menor que  $0.4 \text{ t ha}^{-1}$ . En el segundo año puede rendir desde 1 hasta  $1.5 \text{ t ha}^{-1}$ , en el tercero desde 2 hasta  $2.5 \text{ t ha}^{-1}$  y después del quinto año puede aumentar hasta  $3 \text{ t ha}^{-1}$  (Navarro *et al.*, 1992)

Cabe señalar que estos resultados se obtuvieron a partir de experimentos agronómicos en condiciones de temporal, y con semillas criollas. Con base en encuestas a campesinos de Tlaxcala se detectó que algunos agricultores prefieren la cebada y el trigo, o bien haba y maíz para cultivar un tepetate recién roturado, pero comúnmente durante el primer año de cultivo solamente producen pajas, y es hasta el segundo año de cultivo cuando obtienen rendimiento de grano. En San Pablo Ixayoc, Estado de México, los agricultores prefieren sembrar en su mayoría maíz, una menor parte utiliza cereales de grano pequeño y la asociación de gramíneas con leguminosas, pero obteniendo generalmente durante el primer año de cultivo, igual que en el caso anterior, únicamente producción de pajas<sup>3</sup>.

### 2.3.2. Importancia de la materia orgánica

La materia orgánica (MO) es una de las porciones más activas del suelo, a pesar de que en la mayoría de los suelos cultivados constituye solamente 1 y 5 %. La MO se localiza principalmente en los primeros 25 cm del perfil. Pequeñas cantidades de ésta pueden modificar las propiedades físico-químicas y biológicas del suelo, además de proporcionar estabilidad estructural, aumentar la porosidad, mejorar las relaciones agua-aire, la capacidad de intercambio catiónico, etcétera.

La MO es la fuente de casi todo el nitrógeno que existe en el suelo, 5 y 60 % del fósforo, hasta el 80% del azufre y de una gran parte del boro y el molibdeno. La materia orgánica del suelo constantemente está siendo mineralizada y debe ser adicionada continuamente para mantener concentraciones biológicamente deseables y la productividad de los sistemas (Donahue *et al.*, 1977). forma parte de la fuente energética que hace posible la actividad de los microorganismos heterotróficos del suelo ya que proporciona el carbono que éstos requieren.

La actividad microbiana produce una serie de efectos benéficos para la fertilidad de los suelos, como la mineralización o paso de los nutrimentos de formas orgánicas a

---

<sup>3</sup> comunicación personal con el ing Alfonso Márquez Ramos

formas inorgánicas, que son las aprovechables por los cultivos; a humificación o formación de las sustancias húmicas con propiedades coloidales y de lenta descomposición; y la liberación de compuestos polisacáridos que promueven la formación y estabilización de los agregados del suelo, que mejoran la estructura del mismo y proporcionan beneficios colaterales.

Una de las principales fuentes de MO en el suelo son los residuos de tejidos vegetales. Bajo condiciones naturales los tallos y raíces de los árboles, arbustos, pastos, etc. adicionan una gran cantidad de residuos orgánicos al medio en que crecen. En condiciones de agricultura tradicional, una buena porción de las plantas cultivadas es comúnmente removida de la parcela, quedando algunos restos de tallos y raíces en el suelo. La cantidad de éstos depende del tipo de cultivo y manejo. Los materiales residuales son descompuestos y digeridos por varios tipos de organismos del suelo.

En la mayor parte de los sistemas agrícolas la pérdida de material orgánico, debida a la remoción de los residuos de cosecha conjuntamente con sus componentes como carbono, nitrógeno y fósforo entre otros, ocasiona un desbalance entre las salidas y las entradas de los residuos, siendo mayor las primeras, lo cual genera una dependencia de insumos externos, como son los fertilizantes, estos deben ser aplicados para compensar los desbalances producidos y proporcionar nutrimentos que son necesarios para el cultivo posterior (Kasmussen y Collins, 1991).

En aquellas condiciones de cultivo en que la parte aérea de la planta es removida, la raíz y sus exudados juegan un enorme papel en la consecución de un nuevo equilibrio, ya que éstas equivalen aproximadamente al 15 % de la biomasa aérea total en gramíneas anuales y a un 30 % aproximadamente en leguminosas forrajeras (Rodríguez, 1993).

Los residuos de los tejidos de las plantas superiores son la fuente primaria no sólo de alimentos para varios microorganismos, sino de MO para el suelo. Las excreciones de la micro y mesofauna son consideradas como fuentes secundarias de materia orgánica. La fauna viva que existe en el suelo ataca los tejidos originales de la planta, contribuyendo a la degradación y contribuyen con su cuerpo al reservorio orgánico de este cuando su ciclo de vida es consumado (Brady, 1974.)

El material vegetal residual se descompone liberando compuestos como nitratos, sulfatos y bióxido de carbono, entre otros, y generando compuestos amorfos que unidos con partículas minerales o arcillas forman complejos arcilla-humus. La materia orgánica considerablemente alterada, o humus, es estable y más resistente a la biodegradación que la materia orgánica fresca.

### 2.3.3. Aplicación de abonos orgánicos y fertilizantes

Una de las mejores formas de incorporar el tepetate a la producción después de la roturación, es mediante la adición de materia orgánica. Es importante la incorporación de estiércol y los residuos de las cosechas al suelo, sin embargo, en muchos lugares estas prácticas son inusuales ya que no siempre hay disponibilidad de estiércol, y muchas veces los esquilmos son utilizados en la alimentación del ganado.

Rey, (1987) evaluó varias dosis de estiércol de bovino húmedo y semiseco, y su efecto residual en tepetates recién roturados. se obtuvieron mejores resultados en la producción de materia seca de trigo aplicando  $100 \text{ t ha}^{-1}$  de estiércol semiseco, y a mayor dosis de  $400 \text{ t ha}^{-1}$  encontró que se abate el rendimiento. Sin embargo, con el estiércol húmedo obtuvo un mayor efecto residual. Desafortunadamente en la práctica, estas dosis son imposibles de realizar por la falta de estiércol disponible en la región, por el costo y el tiempo que representa.

Debido al bajo contenido de nitrógeno y fósforo, los fertilizantes químicos son absolutamente necesarios para la incorporación de los tepetates a la agricultura.

## 2.4. Características generales de los cultivos alternativos

### 2.4.1. Cebada (*Hordeum vulgare*)

La cebada es un cultivo de ciclo corto resistente a la sequía, tolerante a bajas temperaturas y a cierto grado de salinidad. Su importancia social y económica se basa en la preferencia que tienen los agricultores de las zonas de temporal de los Valles altos de México. Debido a su precocidad se pueden asegurar las cosechas en caso de temporales atrasados y siembras tardías, o bien sacar dos cosechas al año en condiciones de riego.

Este cereal fue introducido a México por los Españoles y se cultivó primero en la región conocida como Mesa Central o Valles Altos, que comprenden los estados de México, Puebla, Tlaxcala e Hidalgo. La primera cebada llamada común, poco adaptada a la región, se usó para la alimentación de ganado, y posteriormente para la fabricación de malta para la industria cervecera (SARH, 1985). La producción de cebada en el estado de México alcanza  $4.44 \text{ t ha}^{-1}$  en condiciones de riego, y  $1.68 \text{ t ha}^{-1}$  en condiciones de temporal. En promedio se tienen  $2.3 \text{ t ha}^{-1}$ , pero a nivel nacional es  $2 \text{ t ha}^{-1}$ . La superficie cultivada de cebada en el Estado de México es 28,082 ha de temporal y 3,914 ha de riego (SARH, 1990).

### 2.4.2. Veza común(*Vicia sativa* )

La veza común también conocida comúnmente en otros lugares como: arveja, arvejilla, algarrobo o ebo, es una planta originaria de Europa y las partes adyacentes de Asia y Africa. Esta se encuentran ampliamente distribuida en las áreas templadas del mundo. El género *Vicia* comprende cerca de 150 especies (Hughes y Eath, 1984).

La veza es una planta semitrepadora con zarcillos. Las hojas son pinadas; el color y tamaño de las flores varía de una especie a otra, las semillas y las vainas también varían en su tamaño y forma. Son plantas anuales, que cuentan con un sistema radical principal muy ramificado; los nódulos son de forma cilíndrica, que miden 4 mm o más de longitud. El tallo es largo y débil.

En general se considera que las vezas son leguminosas forrajeras con un elevado contenido de proteína y un alto rendimiento de materia seca, el valor nutritivo del heno es comparable con el heno del trébol y el de otras de leguminosas. Esta planta es poco cultivada en México, su empleo es básicamente para producción de forraje, abono verde y cultivo de amplia cobertura.

La veza común (*Vicia sativa* ) es menos resistente al invierno que la veza de invierno(*Vicia velluda* ), aunque pueden resistir también temperaturas por debajo de los 0 °C. Este cultivo se adapta mejor a los suelos migajosos bien drenados, aunque pueden cultivarse en suelos arenosos si se fertilizan bien.

### 2.4.3. La asociación cebada-veza

La siembra asociada de gramíneas y leguminosas permite el aprovechamiento del nitrógeno atmosférico que éstas últimas fijan y aportan al suelo. Las leguminosas son las únicas plantas superiores que no dependen exclusivamente del nitrógeno del suelo para satisfacer sus requerimientos nutrimentales, debido a una simbiosis existente entre leguminosas y bacterias del género *Rhizobium*, las cuales se hospedan en las raíces. Forman nódulos que se caracterizan por ser de un color rosado cuando se encuentran en actividad. Erdman, citado por Cuatle (1979) informó que la cantidad de nitrógeno fijado por la bacteria *Rhizobium* en el cultivo de la veza, fluctuó alrededor de 92 kg ha<sup>-1</sup>.

El nitrógeno se transfiere al suelo con los residuos vegetales, ocurriendo la descomposición de raíces y nódulos. El nitrógeno libre puede ser utilizado por la planta hospedera y aprovechado por otras plantas que crecen en estrecha relación con las leguminosas. El empleo de mezclas de gramínea-leguminosa permite una cubierta vegetal más completa y suministra al ganado una ración de mayor calidad forrajera que cuando se utiliza una sola especie.

### 3. MATERIALES Y METODOS

#### 3.1 Características del sitio experimental

##### 3.1.1. Localización del sitio experimental

El experimento se realizó en terrenos comunales de San Miguel Tlaixpan, Estado de México, zona oriente del estado de México (Figura 3). Se localiza a 10 km de la ciudad de Texcoco. 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 la Flores.

El sitio se encuentra localizado entre 98° 47' 55" Longitud Oeste y 19° 29' 53" Latitud Norte, a 2,555 msnm. En términos de geomorfología, esta sobre la ladera de un interflujo, perpendicular a la pendiente principal. Orientado sur-norte, la fisiografía de esta vertiente es ligeramente cóncava y presenta pendientes de 8 a 10% en promedio.

##### 3.1.2. Clima

De acuerdo a la clasificación de Köpen modificado por García (1981), este sitio corresponde a la parte media de la ladera oriente de la cuenca de México, con clima C(Wo)(w)b(i') templado subhúmedo. La temperatura media anuales es 14.7 °C y fluctúa entre 12 °C de diciembre a febrero y 18 °C durante junio a agosto. La precipitación esta distribuida desde mayo hasta octubre, y es en promedio de 620 mm por año; sin embargo, desde 1993 hasta 1996 se registraron volúmenes anuales de lluvia desde 420 mm hasta 794 mm. El porcentaje de lluvias invernales es inferior que 5% del total anual. Su régimen de temperatura, es isotérmico (Peña y Zebrowski, 1993).

##### 3.1.3. Tipos de suelo del sitio 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 significa zona completamente erosionada. Se define como una toba andesítica con presencia de cuarzo, feldespatos y vidrios volcánicos. Su textura es migajón-arenosa, con estructura columnar fuertemente desarrollada, que al romperse origina bloques gruesos extremadamente duros (Ortíz y Cuanalo, 1977).

Peña y Zebrowski (1993) hicieron referencia del sitio experimental en su perfil 30, donde informaron que el lugar se encuentra al pie de monte a 2,555 msnm, donde el material parental alude a tobas y material coluvial aluvial.

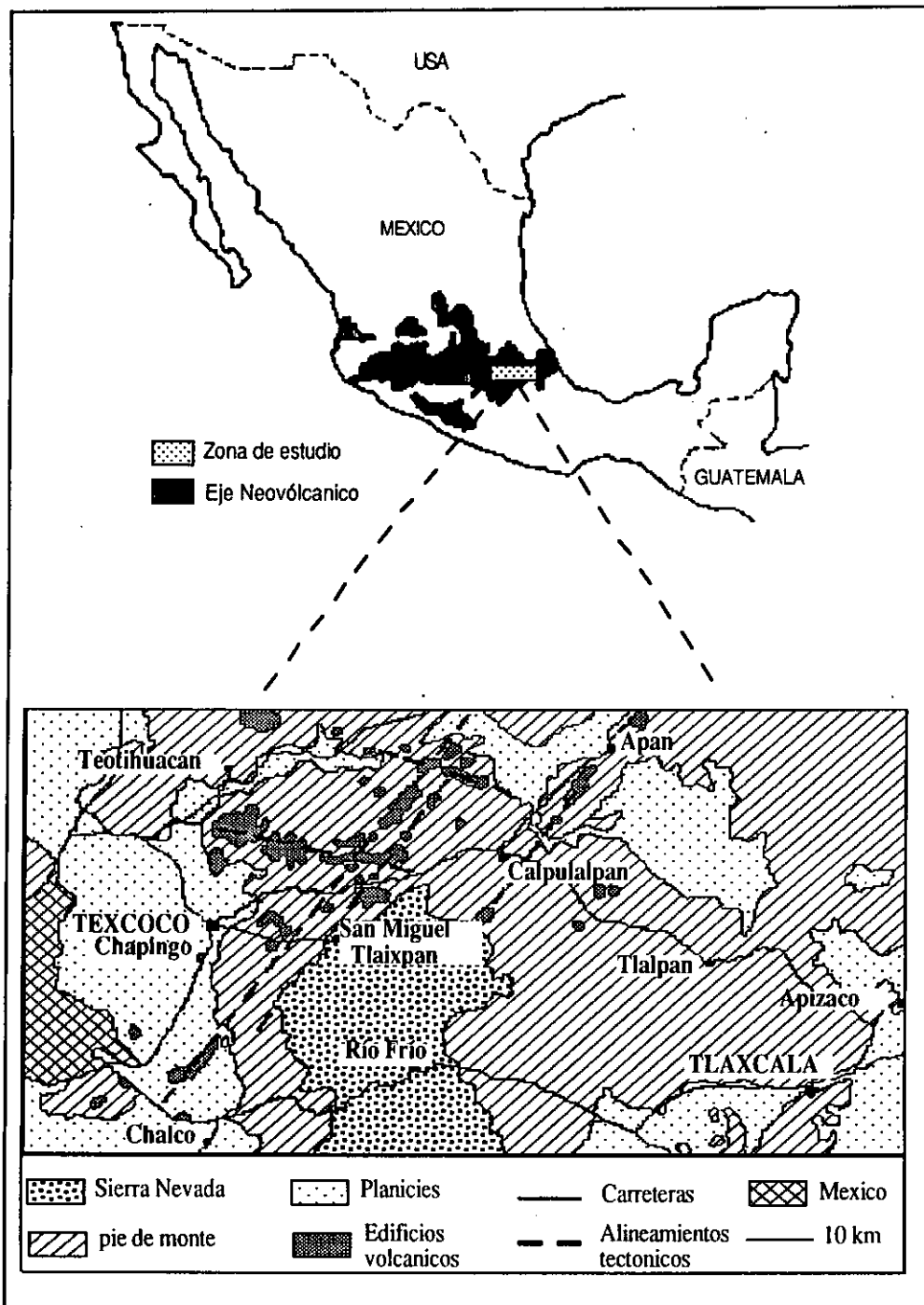


Figura 3. Localización del área de estudio.



Existe una erosión muy fuerte con cárcavas, entre las cuales se observan montículos desde 3 hasta más de 5 m de altura, que muestran el nivel original del suelo, y bajo el cual se presenta una formación de tepetate blanco denominado como T2, que a la vez sobreyace a otra formación de tepetate café denominado como T3, que se encuentra en mayor abundancia, y el cual es utilizado en éste estudio.

El tepetate T3, pardo amarillo, descrito habitualmente como de color café, (10YR6/4) al estado seco, presenta unos cutanes más rojos. Su textura con 52.8, 15.7 y 31.5% de arena, limo y arcilla respectivamente, es franco arcilloso-arenoso según la clasificación de la Soil Taxonomy. Es masivo con densidad real: 2.48 y densidad aparente: 1.66 y, 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. El pH es un poco alcalino, la cantidad de bases intercambiables es elevado y el complejo absorbente es saturado, principalmente por Ca<sup>++</sup>. Además, es importante subrayar la casi ausencia de materia orgánica, de nitrógeno y de fósforo asimilable.

#### 3.1.4. Uso del suelo del sitio

Los asentamientos humanos que se localizan en el área de estudio han utilizado el suelo para diversas actividades productivas. Sin embargo, los estragos de la erosión presente, indican que no ha sido con el manejo más adecuado. Durante el temporal los campesinos cultivan: maíz (*Zea mays* L.), frijol (*Phaseolus vulgaris* L.), haba (*Vicia faba* L.), cebada (*Hordeum vulgare* L.), algunas especies ornamentales a cielo abierto y/o en invernadero como: zempoaxuchitl (*Tagetes erecta* L.), agapando (*Agapanthus africanus* Hoffmans), bola de hilo (*Chrysanthemum frutescens* L.), crisantemo (*Chrysanthemum frutescens* L.), flor de nube (*Gypsophila paniculata* L.), y dalia (*Dahlia pinata* Cav.) entre otros, y algunos frutales como ciruelo (*Prunus domestica* L.), manzano (*Pyrus malus* L.), pera (*Pyrus communis* L.), durazno (*Prunus persica* L.), y chabacano (*Prunus americana* L.) Además entre 2700 y 2800 msnm predominan las zonas forestales y áreas reforestadas por eucalipto.

#### 3.1.5. Descripción del perfil de la zona de estudio

En la Figura 4 se presenta un perfil representativo de la zona oriente de la cuenca de México, hecho por Peña y Zebrowski (1993). Se describieron una serie de capas, y el primer horizonte fue una capa eólico-coluvial (H) con presencia de ladrillos. Se presentó otro horizonte negro y arcilloso correspondiente a la serie T2. Por debajo se encontró un depósito masivo y compacto con concreciones de carbonato de calcio, que presentó dos niveles de tepetate (t2a y t2b) separados por una capa de arcilla gris.

Capas	Profundidad cm	Características	Serie
Coluvial	0	-Humífero, gris (10 YR 5/2), franco-arcilloso, fragmentos de ladrillos, masivo	H
Vértica	25	-Vértica, negro (10 YR 3/1), arcilloso, todavía con fragmentos de ladrillos, masivo	
Masiva	69	-Pardo amarillento (10 YR 6/4), algunas manchas negras de Mn, arcilloso, masivo, coherente.	
Masiva	87	-Más oscuro que el anterior (7.5 YR 3/2), también coherente	
Tepetate	124	-Tepetate masivo con bolas de acreciones de cenizas pardo (10 YR 5/3), arcilloso, duro	T2
Arcilla	150	-Arcilla gris (10 YR 5/2), bien estructurada, poliédrica angular	
Tepetate	200	-Tepetate gris claro (2.5 Y 7/2), franco-arcilloso, masivo duro, concreciones redondas de carbonato de calcio	
Tepetate	220	-Parte inferior del tepetate, poco más rojizo (10 YR 6/4), sin concreción de carbonato de calcio	
Paleosuelo	235	-Paleosuelo, rojizo (7.5 YR 4/4), con abundantes manchas de manganeso, franco-arcilloso, bloques subangulares con revestimientos arcillosos	
Paleosuelo	260	-Parecido a la capa anterior con menos manchas de manganeso	T3
Tepetate	420	-Tepetate pardo amarillento (10 YR 6/4), algunos cutanes más rojizos, arcilloso, masivo, duro	
	460		

Figura 4. Perfil P30 en San Miguel Tlaixpan, Texcoco, Estado de México, a 2,555 msnm. Fuente: Peña y Zebrowski, 1993.

Se presenta un paleosuelo, desarrollado a partir de la serie T3, ligeramente rojizo, debajo del cual se encontró un nivel de tepetate t3 duro, pero que se disgrega en el agua. Todo el perfil comúnmente ha sido erosionado encontrándose en mayor abundancia el afloramiento del tepetate T3.

Las características físicas de los horizontes se muestran en el Cuadro 4. La textura es franco-arcillo-arenosa en la parte coluvial, pero más arcillosa en las capas siguientes, principalmente en la capa vértica negra y en la arcilla gris, que presentan en general más de 40% de arcilla. Las densidades aparentes en los perfiles con tepetate varían entre 1.2 y 1.7, las cuales son consideradas como bajas.

Cuadro 4. Características físicas del perfil P30 en San Miguel Tlaixpan, Texcoco, Estado de México.

cm	Capas en campo	(%)			Da	Dr	pF en seco		Resistencia (Kg cm <sup>-2</sup> )
		arena	limo	arcilla			2.5	4.2	
0 - 25	Coluvial	59.6	11.9	28.5	1.57	2.46	27.0	17.7	10
25 - 69	Vértica	49.9	07.4	42.7	1.84	†	38.9	28.7	34
69 - 87	Capa masiva	49.2	17.2	33.7	1.63	2.38	32.7	24.6	54
87 - 124	Capa masiva	26.0	27.5	46.5	1.15	2.43	31.0	25.0	72
124 - 150	Tepetate t2a	54.0	18.9	27.1	1.25	2.49	31.5	22.4	26
150 - 200	Arcilla gris	21.0	11.8	67.1	1.24	†	42.8	33.2	13
200 - 220	Tepetate t2b	49.3	16.7	34.0	1.68	2.49	33.1	25.4	53
220 - 235	Tepetate t2b	50.2	24.0	25.8	1.26	2.29	27.9	22.4	153
235 - 260	Paleosuelo	49.5	14.0	36.5	1.19	2.53	33.6	25.7	113
260 - 420	Paleosuelo	50.8	15.0	34.2	1.30	2.45	31.6	22.9	80
420 - 460	Tepetate t3	52.8	15.7	31.5	1.66	2.48	30.6	22.3	51

Da: Densidad aparente, Dr: Densidad real, pF: Retención de humedad. †: no registrado. Fuente: Peña y Zebrowski, 1993.

Las características químicas de los horizontes se observan en el Cuadro 5. El pH es neutro en la superficie y moderadamente alcalino en las capas profundas. Las bases intercambiables (BI) son altas. La capacidad de intercambio catiónico (CIC) es siempre más alta en los horizontes desarrollados a partir de la serie T2 que en los que se desarrollan en la serie T3. Los contenidos de fósforo asimilable son generalmente bajos, desde 2 hasta 5 ppm. El contenido de nitrógeno también es bajo, principalmente en las capas de paleosuelo y el tepetate t3.

**Cuadro 5. Características químicas del perfil P30 en San Miguel Tlaixpan, Texcoco, Estado de México.**

Profundidad cm	Capas	pH agua	BI (meq/100g)				CIC meq	SB	C %	N	P ppm		
			CaCO <sub>3</sub>	K	Na	Ca						Mg	BI
0 - 25	Coluvial	6.9	0.51	0.55	0.55	08.20	07.20	16.5	18	093	0.65	0.06	2.5
25 - 69	Vértica	7.0	0.02	1.10	1.00	11.30	11.20	24.6	28	088	0.40	0.05	2.5
69 - 87	Capa masiva	7.5	0.60	1.40	0.90	10.20	10.70	23.2	23	100	0.10	0.04	2.5
87 - 124	Capa masiva	7.6	0.30	1.20	0.70	08.40	09.10	19.4	22	088	0.04	0.04	2.5
124 - 150	Tepetate t2a	7.5	0.80	1.20	0.80	07.80	08.10	17.9	22	081	0.07	0.04	2.5
150 - 200	Arcilla gris	7.6	0.30	1.60	1.10	13.60	16.30	32.6	35	093	0.04	0.04	2.5
200 - 220	Tepetate t2b	7.7	0.70	1.50	1.10	12.50	14.40	29.5	32	092	0.04	0.02	2.5
220 - 235	Tepetate t2b	7.8	†	9.40	0.83	07.60	10.50	28.2	25	100	0.01	0.05	2.5
235 - 260	Paleosuelo	7.6	0.10	1.60	0.90	11.00	12.20	25.7	26	099	0.12	0.03	2.5
260 - 420	Paleosuelo	7.3	0.50	1.40	0.90	10.20	09.60	22.1	17	100	0.07	0.02	2.5
420 - 460	Tepetate t3	7.7	0.20	1.50	0.90	07.80	08.20	18.4	15	100	0.04	0.02	2.5

BI: Bases intercambiables, CIC: Capacidad de intercambio catiónico, SB: Saturación de bases, †: no registrado. Fuente: Peña y Zebrowski, 1993.

### 3. 2. Preparación de las terrazas

#### 3.2.1. Selección de la área de estudio

Para la construcción de las terrazas experimentales se seleccionó una área erosionada con afloramiento y pendiente uniforme de tepetate t3. Se efectuó un muestreo con barreno en 70 sitios, con profundidades desde 0 hasta 60 cm. Las muestras fueron analizadas en laboratorio para determinar sus características físico-químicas y comparar con el perfil 30 de referencia (Peña y Zebrowski 1993).

#### 3.2.2. Roturación

La roturación se realizó del 6 al 20 de abril de 1993 con un Caterpillar D7 de dos dientes, trabajando a la mitad de su capacidad. Después de haber limpiado y delimitado el área de las terrazas, se roturó en forma lineal, a 15 cm de separación entre cada línea. Después se hizo otro paso de roturación de igual manera, pero de manera perpendicular a la línea anterior, de tal modo que se obtuvo una roturación cuadriculada. Los bordos de las terrazas se fueron conformando durante la roturación, y al final de la labor, se complementaron. Se hicieron tres tipos de roturación:

1. Roturación simple (Rs). La maquinaria se calibró para penetrar a una profundidad de 45 cm. Se hizo un paso de roturación en forma lineal y otro perpendicular a la línea anterior.
2. Roturación profunda (Rp). La maquinaria se calibró para penetrar a una profundidad de 60 cm. Se hizo un paso de roturación en forma lineal y otro perpendicular a la línea anterior.
3. Roturación doble (Rd). La maquinaria se calibró para penetrar a una profundidad de 45 cm. Se hizo doble paso de roturación en forma lineal y doble paso en forma perpendicular a la línea anterior.

En el Cuadro 6 se presentan algunas características generales de las terrazas roturadas y no roturadas. Destacan la profundidad promedio, la pendiente, la fertilización y los cultivos que fueron evaluados durante este estudio. La Figura 5 presenta de manera esquemática la disposición de las terrazas experimentales.

**Cuadro 6. Características de las técnicas de rehabilitación utilizadas.**

Tratamiento	Área m <sup>2</sup>	Substrato	Cultivos	Estiércol t ha <sup>-1</sup>	Profundidad m	Fertilización N + P + K	Pendiente %
0	1800	No roturado			*		2 a 10
1	470	Rp	Cebada + Veza	0	0.60	80-60-00	4.7
2	773	Rs	Cebada	0	0.46	80-60-00	3.2
3	732	Rs	Cebada + Veza	13.6	0.43	80-60-00	3.4
4	792	Rd	Cebada + Veza	0	0.44	80-60-00	2.2
5	1152	Rs	Cebada + Veza	0	0.40	80-60-00	4.4
6	713	Suelo	Cebada + Veza	0	0.53	80-60-00	5.9

N: Sulfato de amonio (19.5%), P: Superfosfato de calcio triple (46%), K: Potasio.

### 3.2.3. Preparación del terreno

Después de la roturación y la construcción de las terrazas, se hizo un paso de rastra para romper los trozos de tepetate más grandes que quedaron sobre la superficie del terreno. La preparación de la cama de siembra fue hecha en forma de melga, posteriormente se hizo otro paso de rastra más ligero que el anterior.

### 3.2.4. Nivelación

La nivelación consistió en aplanar el terreno con una cuchilla, y dirigir la pendiente de las terrazas en la dirección de un vertedor que deriva hacia un colector de sedimentos.

Para medir la pendiente, se calculó el desnivel desde el punto más alto hasta el punto más bajo de las terrazas, tanto a lo largo como a lo ancho. Se utilizó un nivel de manguera y estacas de madera colocadas a 7 m de separación aproximadamente.

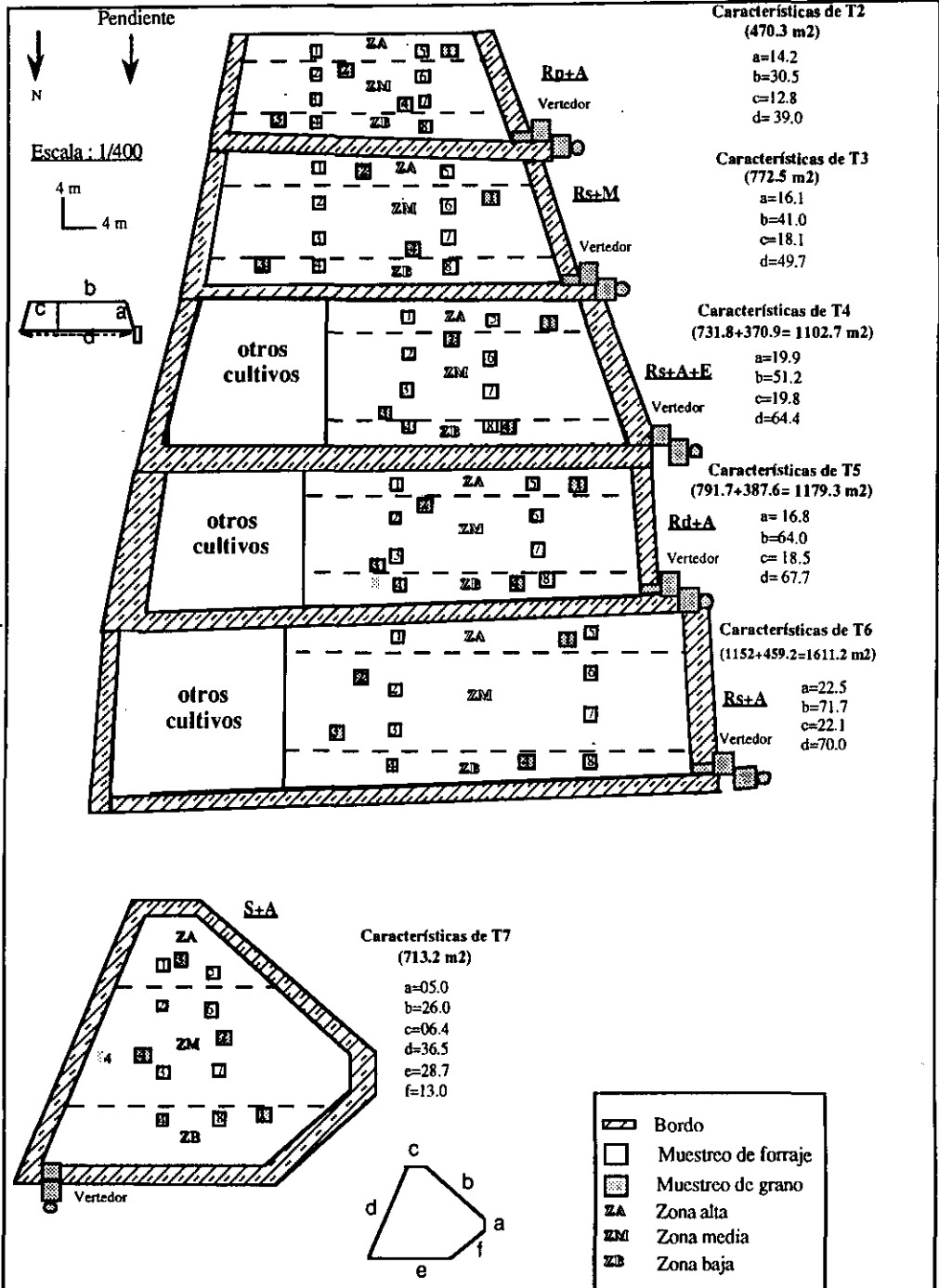


Figura 5. Croquis de las parcelas experimentales, en San Miguel Tlaixpan, Texcoco, Estado de México.

### 3.3. Cultivos utilizados en el experimento

#### 3.3.1. Cebada (*Hordeum vulgare* L.)

La semilla de cebada empleada para este trabajo, fue la variedad "esmeralda". Esta fue desarrollada recientemente en el INIFAP (1993). Las características (Cuadro 7) fueron obtenidas a partir de parcelas experimentales.

**Cuadro 7. Características de la variedad de cebada "esmeralda".**

Descripción	Resultados experimentales
Amacollamiento	10 por planta.
Inflorescencia y flores	Espiga laxa con 6 hileras de grano.
Semilla	Color crema Al madurar su cascara queda adherida al grano después de la trilla.
Color de hojas y tallos	En etapa vegetativa son de color verde esmeralda.
Días al 50% floración	49-64 días dependiendo del ciclo y la localidad.
Días a la cosecha	91-120 días dependiendo del ciclo y la localidad.
Altura promedio	86-105 m dependiendo del ciclo y la localidad.
Vientos	Moderadamente tolerante.
Sequia	Tolerante.
Rendimiento	3.6 t ha <sup>-1</sup> en parcelas experimentales.

INIFAP, 1993.

#### 3.3.2. Veza común (*Vicia sativa* L.)

Como datos de referencia se tiene un experimento de veza realizado por Chora *et al.* (1994) en monocultivo, sobre tepetate café recién roturado (Cuadro 8) en San Miguel Tlaixpan, Texcoco.

**Cuadro 8. Rendimiento de veza común en monocultivo sobre tepetate recién roturado en San Miguel Tlaixpan, Texcoco.**

Roturación	Grano de veza t ha <sup>-1</sup>	Forraje de veza t ha <sup>-1</sup>
Roturación simple con estiércol	0.5	3.9
Roturación doble sin estiércol	1.1	3.1
Roturación simple sin estiércol	1.2	3.2

Hernández (1990) informó de un experimento realizado en Chapingo, México, sobre suelo franco arenoso, la producción de forraje y semilla de veza asociado con avena en diferentes proporciones de siembra (Cuadro 9).

**Cuadro 9. Rendimiento de veza común asociada con avena cultivada en el área de Chapingo, México.**

Densidad kg ha <sup>-1</sup>	Grano de veza t ha <sup>-1</sup>	Grano de avena t ha <sup>-1</sup>
25	0.38	0.77
50	0.41	0.70
75	0.30	0.56
100	0.32	0.60

### 3.4. Manejo agronómico

#### 3.4.1. Siembra

La siembra se hizo manual en suelo seco el 10 de junio. Se utilizaron 150 kg ha<sup>-1</sup> de cebada en el monocultivo, mientras que en la asociación se utilizó una proporción de 105 kg ha<sup>-1</sup> de semilla de cebada y 21 kg ha<sup>-1</sup> de semilla de veza; lo cual correspondió a una proporción de 3:1.

La semilla de cebada empleada tuvo un porcentaje de germinación de 95%, mientras en la semilla de veza el porcentaje fue de 90%

Debido a factores climáticos y al tipo de suelo, hubo un abatimiento de las plantas sobre el tepetate. Fue necesario efectuar otra siembra el 29 de junio cuando el temporal estuvo bien establecido. Se hizo un paso de rastra para eliminar los residuos de la siembra anterior, aún en la terraza de suelo donde las plantas habían germinaron bien.

#### 3.4.2. Fertilización mineral

Las fuentes utilizadas para la fertilización mineral fueron sulfato de amonio, con 20.5% de nitrógeno, y superfosfato de calcio triple, con 46% de fósforo. Se aplicó la fórmula 80-60-00 en todas los tratamientos. La aplicación se hizo en dos partes: la primera durante la siembra, donde se agregaron 40 kg ha<sup>-1</sup> de nitrógeno y el total de fósforo que correspondió a 60 kg ha<sup>-1</sup>. La segunda aplicación fue a los 38 días después de la siembra, donde se agregaron solamente 40 kg ha<sup>-1</sup> de nitrógeno.

#### 3.4.3. Fertilización orgánica

Se incorporaron, 40 t ha<sup>-1</sup> de estiércol de bovino semihúmedo. Este fue distribuido sobre cuadrantes de 5 x 5 metros, delimitados por mecahilos a lo largo y ancho de la terraza. El estiércol fue esparcido con rastrillos y mullido, de modo que no quedaran grumos grandes para su mejor incorporación en el terreno. La composición química del estiércol de bovino se presenta en el Cuadro 10. Tuvo 66% de húmeda y el carbono orgánico correspondió a 58% de la materia orgánica. La relación carbono nitrógeno del estiércol fue 27:1.

**Cuadro 10. Composición química del estiércol de bovino utilizado.**

	PH	PS	MO	C	N	P	K	Ca	Mg	Fe	Na	ppm		
												Cu	Mn	Zn
%	66	44	64	37.1	1.4	0.4	0.4	2.6	0.7	0.3	†	9	96	40
kg	26400	13600	8704	5048	190.4	54.4	54.4	353.6	95.2	120	†	0.1	1.3	0.5

PH: peso húmedo, PS: peso seco, MO: materia orgánica, †: no registrado.

### 3.4.4. Cosecha

La cosecha se realizó en dos partes, la primera fue para estimar la producción de forraje, y se llevó acabo 68 días posteriores a la siembra. La segunda parte fue para estimar la producción de grano, el cual se cosechó durante los últimos días de noviembre y primeros de diciembre. En el apéndice 1 se presenta el calendario de las actividades realizadas durante el proceso productivo. Para la cosecha de grano, además, se colectó toda la espiga y se determinó el rendimiento real.

### 3.5. Prácticas agronómicas

Las prácticas agronómicas fueron las siguientes.

1. Roturación profunda + Asociación (Rp+A).
2. Roturación simple + monocultivo (Rs + M).
3. Roturación simple + asociación + estiércol (Rs+A+E).
4. Roturación doble + asociación (Rd + A).
5. Roturación simple + asociación (Rs+A).
6. Suelo + asociación (S + A).

### 3.6. Diseño experimental y análisis estadístico

El diseño experimental empleado fue de bloques al azar y tres repeticiones. El criterio de bloqueo, fue la profundidad de roturación, que tuvo variaciones de 5 cm, en comparación con la profundidad de roturación calibrada durante la construcción de las terrazas. Esta variación se localizó de menor a mayor en función de la pendiente. Para el análisis estadístico se utilizaron los valores promedios de cada variable medida, a partir de las unidades experimentales.

El análisis se efectuó con un modelo lineal acorde al diseño:

$$y_{ij} = \mu + \tau_i + B_j + E_{ij}$$

Donde:

Y<sub>ij</sub>: Variable de respuesta en el tratamiento.

μ: Es el promedio general.

τ<sub>i</sub>: Efecto de los tratamientos.

B: Efecto del bloque j.

E<sub>ij</sub> Es el error aleatorio o residual.



El análisis de varianza y la comparación de medias se realizaron mediante el programa de computación denominado Statical Analysis System (SAS) versión 6.04. (Martínez, 1983).

### 3.7. Muestreo

Dentro de cada terraza se definieron, a lo largo de estas, 3 áreas de muestreo que se describen a continuación (Cuadro 12):

1. La zona alta (ZA ó bloque I) que corresponde a la parte aguas arriba y representa de 13 a 16% de las terrazas (cuadro 12), tiene en promedio una menor profundidad con 40 cm.
2. La zona baja (ZB ó bloque II) que corresponde a la parte aguas abajo, representa desde 13 hasta 19% de las terrazas, con una profundidad un poco mayor con 50 cm.
3. La zona media (ZM ó bloque III) que comprende la mayor parte de la terraza desde 65 hasta 74% y tiene en promedio la profundidad intermedia con 45 cm. En Rp+A con mayor profundidad de roturación, la ZA tiene de 60 cm, la ZB 70 cm y la ZM 65 cm.

### 3.8. Variables medidas

#### 3.8.1. Tiempo de roturación

Se midió el tiempo efectivo empleado por el maquinista en la limpieza de las áreas, la roturación y el terraceo de cada una de las parcelas experimentales.

#### 3.8.2. Granulometría

Se efectuó un muestreo sistemático en 12 pozos por tratamiento. Se tomaron muestras de suelo a partir de 0-20 y 20-40 cm de profundidad. Estas muestras fueron pesadas y secadas en una estufa eléctrica a una temperatura de 110 °C durante 24 horas. Posteriormente se pasaron por 9 tamices de malla cuadrada que correspondieron a 50.8, 31.7, 22.8, 11.5, 6.35, 4.76, 3.36, 2.00 y 0 mm de diámetro. Se cernieron a través de un vibrador automático durante 5 minutos. Posteriormente se pesó el contenido de cada tamiz y se hizo una relación de porcentajes.

#### 3.8.3. Variables climáticas

##### 3.8.3.1. Precipitación

Se instalaron tres pluviómetros cerca de las parcelas experimentales, a una distancia aproximada de 250 metros cada uno; desde la parte más alta de la pendiente,

hacia la parte más baja. Se registraron todos los eventos de lluvia por día, ocurridos durante todo el año. Para la elaboración del pluviograma se utilizaron los valores promedio de los tres pluviómetros.

### 3.8.3.2. Temperatura

Se registró la temperatura por medio de una estación climática móvil de registro automático programable, llamada Watherlink. El software utilizado fue Weatherlink 1.0 para Macintosh. La información presentada correspondió solamente al ciclo agrícola, es decir, desde octubre hasta noviembre.

### 3.8.4. Escurrimientos y sedimentos arrastrados

Cada tratamiento o terraza tuvo la pendiente dirigida hacia un vertedor tipo "H", el cual desembocó en una pileta de partición de agua, de un volumen de un metro cúbico. Esta pileta tuvo a su vez una salida hacia una segunda pileta, pero donde solamente se recuperó un 1/20 o 1/10, según los modelos, del total de agua. Esta segunda pileta se puso a su vez en un tambo de metal, también en una proporción de 1/20 o 1/10 del volumen de agua sobrenadante. Las piletas de concreto fueron pintadas para evitar la contaminación del agua por el cemento. Al nivel del vertedor, se colocó un limnígrafo Stevens horizontal de registro diario, escala 1/1, con relojería de cuarzo (Figura 6).

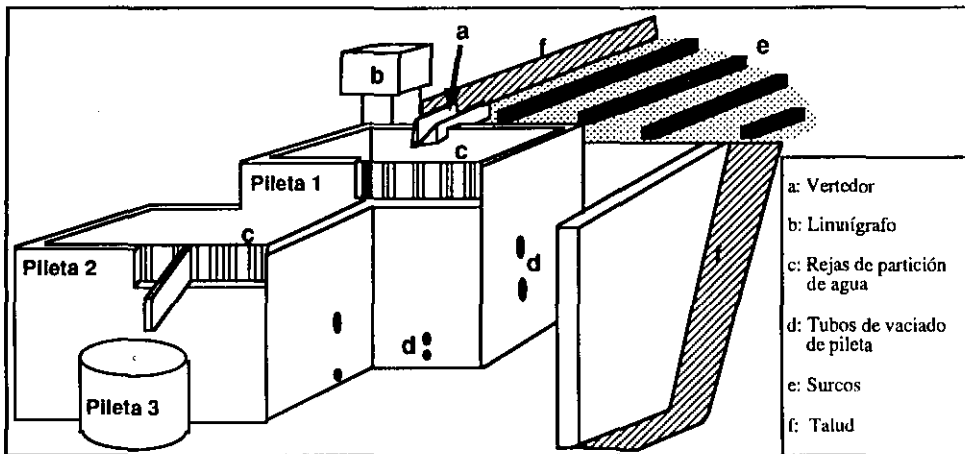


Figura 6. Esquema de las instalaciones de captación de aguas y sedimentos en las parcelas experimentales.

Las dimensiones del sistema de recolección total del agua de escurrimiento, se estableció con base en los datos climáticos de la zona y mediciones en parcelas de Wichmeier en estudios anteriores (Arias, 1992), tomando en cuenta no solamente el

volumen de agua, sino también el de sedimentos que se puede esperar en caso de eventos excepcionales.

Después de cada lluvia se midió la altura de agua en las piletas y se recuperaron todos los sedimentos en bolsas de plásticos. Luego, se pasaron dichos sedimentos en pequeñas charolas de zinc que se colocaron en una estufa a 105 °C durante uno a tres días, dependiendo de su grado de humedad.

### **3.8.5. Componentes de rendimiento en el muestreo forraje**

#### **3.8.5.1. Días al 50% de floración**

Se eligieron cuatro áreas de muestra de 1 m<sup>2</sup> por terrazas, mismas que fueron utilizadas para la evaluación de los componentes de rendimiento. Se contabilizó la floración desde su inicio, tomando en cuenta la emisión de flores a partir de espigas bien formadas. Se hicieron 4 conteos con espaciamentos de una semana y se determinaron los porcentajes.

#### **3.8.5.2. Número de plantas, tallos y amacollamiento**

Se cuantificó el número total de plantas y tallos en cada unidad de muestreo. El amacollamiento se determino dividiendo tallos entre plantas.

#### **3.8.5.3. Altura de planta**

Se midieron la altura de 20 plantas al azar, dentro de las unidades de muestra. El criterio que se utilizó fue partiendo del suelo hasta la punta de la espiga, pues aún no terminaba el crecimiento. Se consideraron solamente el promedio por unidad de muestreo.

#### **3.8.5.4. Rendimiento de forraje seco de cebada y veza**

A 68 días posteriores de la siembra se evaluó el rendimiento de forraje seco. Se cortaron todas las plantas de cebada y veza al nivel del suelo, dentro de las unidades de muestreo. Se registró el peso en base húmeda. Posteriormente se secaron en una estufa eléctrica a temperatura constante de 75 °C durante 48 horas y después se registró el peso en base seca.

### **3.8.6. Componentes de rendimiento en el muestreo grano**

#### **3.8.6.1. Número de plantas**

Se cuantificó el número total de plantas en cada área de muestra. El conteo se consideró a partir de las raíces después de haber sido arrancadas las plantas, ya que en la parte aérea no fue posible distinguirlas.

### 3.8.6.2. Número de tallos, y amacollamiento

Se cuantificó el número total de plantas y tallos en cada área de muestra. El amacollamiento se determinó dividiendo tallos entre plantas.

### 3.8.6.3. Emisión de espigas

Se cuantificó el número total de espigas emitidas en cada área de muestra en relación con el número de tallos. A esto también se le conoce como eficiencia y se expresa en porcentaje. Su fórmula matemática es la siguiente:

$$E (\text{eficiencia}) = \frac{\text{número de tallos}}{\text{número de espigas}} \times 100$$

Para el análisis estadístico fue necesario hacer una conversión de los valores expresados en porcentajes de esta variable a valores angulares, con el fin de normalizar la distribución de los datos. Por regla general los valores expresados en porcentajes o proporciones de un total, tienen una distribución binomial. Es decir que en una curva de distribución, independiente del valor de la media, las varianzas tienden a ser pequeñas en los extremos de los rangos de valores, cercanos a 0 y 100%, pero mayores en el medio, lo cual es diferente de una distribución normal donde medias grandes tienden a tener varianzas grandes y viceversa (Stell y Torrie, 1988). La transformación los valores se realizó mediante la siguiente ecuación:

$$\text{Valores angulares} = \text{Arcoseno} \sqrt{\frac{x}{100}}$$

donde: x: son los datos porcentuales

### 3.8.6.4. Peso de 100 granos

Para medir este parámetro se contaron en cada muestra de grano obtenida, 500 semillas de cebada y se dividió entre cinco.

### 3.8.6.5. Número de granos m<sup>-2</sup> y granos por espiga

Para estimar el número de granos m<sup>-2</sup>, se contaron y pesaron 500 granos por cada muestra de grano. Se utilizó la siguiente ecuación:

$$NG = \frac{PTM \times P500}{P 500}$$

donde:

NG: número de granos

PTM: peso total de la muestra de grano

P 500: peso de 500 granos

Para estimar el número de granos por espiga, se dividió el número de granos entre el número de espigas.

### 3.8.6.6. Rendimiento de grano de cebada

Para este parámetro no se utilizaron muestras, se midió directamente el rendimiento. Se colectaron las espigas de cada tratamiento, y fueron trilladas mecánicamente. Se ajustó el peso al 12% humedad, para lo cual se utilizó el método gavimétrico. Dicho método es reproducible y de naturaleza empírica, ya que los resultados dependen del grado de molienda del material, del tiempo de secado, y de la temperatura. En cebada es difícil remover de la muestra toda el agua por aplicación de calor, sin alterar al mismo tiempo las sustancias volátiles o causar descomposición de los constituyentes que forman agua. Con el control de la temperatura y el tiempo de secado, sólo se pretendió retirar de la muestra el agua no incorporada por enlaces químicos. Para determinar rendimiento de grano se usó la siguiente ecuación:

$$\text{Rendimiento} = \frac{\text{PGA al 12\% de humedad} \times 10000}{\text{APU}}$$

donde:

PGA: es el peso de grano del área de muestra

APU: es el área de la parcela útil

Para determinar el porcentaje de humedad se usó la siguiente ecuación:

$$\% \text{ humedad} = \frac{\text{muestra húmeda} - \text{muestra seca}}{\text{muestra seca}} \times 100$$

### 3.8.6.7. Biomasa aérea de cebada

Se cosechó la parte aérea de cebada a partir del nivel del suelo. El material vegetal fue secado en una estufa eléctrica a una temperatura constante de 75 °C durante 48 horas. Inmediatamente se midió el peso en base seca. La biomasa aérea correspondió a todo el material biológico de la planta sin incluir las raíces.

### 3.8.6.8. Índice de cosecha de cebada

Es el cociente que existe entre el peso de la biomasa total aérea con el rendimiento de grano. Mientras más se acerque a uno éste valor, quiere decir que hubo mayor eficiencia de la materia vegetal sobre el rendimiento de grano. Se calculó mediante la siguiente ecuación:

$$\text{IC: índice de cosecha} = \frac{\text{rendimiento biológico}}{\text{rendimiento comercial}}$$

Este parámetro también fue convertido a valores angulares como se explicó en el punto de eficiencia 3.8.6.3.

#### **3.8.6.9. Rendimiento de grano de veza**

Para la evaluación de rendimiento de grano de veza, se separó todo el grano de las áreas de muestras y se ajustó el peso al 12% humedad, para lo cual se utilizó el método gravimétrico. Para determinar el porcentaje de humedad se usó la ecuación indicada en el punto 3.8.6.6.

#### **3.8.6.10. Biomasa aérea de cebada-veza**

Se cosechó la parte aérea de veza a partir del nivel del suelo. El material vegetal se secó en una estufa eléctrica a temperatura constante de 75 °C durante 48 horas. Inmediatamente se midió el peso en base seca. La biomasa incluye el peso total de paja y grano.

#### **3.8.6.11. Índice de eficiencia entre monocultivo y asociación**

También se hizo un análisis comparativo entre el monocultivo y la asociación donde se trata de determinar cual sistema fue más productivo, para lo cual se cuantificó el índice de eficiencia (IE), el cual se obtuvo con la siguiente ecuación:

$$IE = \frac{A1}{M1} + \frac{A2}{M2}$$

donde:

A: es el cultivo en asociación

M: es el monocultivo

## 4. RESULTADOS Y DISCUSION

### 4.1. Tiempo de roturación

El tiempo de roturación empleado por la máquina varió debido a la limpieza de las áreas roturadas. Esto dependió de las condiciones en que se encontraba el terreno como: pedregosidad, montículos, hierba etc. Con el fin de obtener terrazas homogéneas, se quitaron los montículos de tierra y vegetación que se encontraron en el sitio experimental, para dejar solamente el tepetate que fue sometido a las técnicas de rehabilitación.

En la roturación simple con profundidad de 45 cm se empleó un tiempo de trabajo efectivo desde 20.5 hasta 31.2 hr ha<sup>-1</sup>, con un promedio de 26.5 hr ha<sup>-1</sup> (Cuadro 11). El tiempo de roturación empleado entre la roturación más profunda (60 cm) y la roturación doble, fue muy parecido con 67.7 y 69.3 hr ha<sup>-1</sup> respectivamente. El tiempo de roturación en estos dos últimos casos, equivalió desde 2 hasta 3 veces mayor que en la roturación simple.

**Cuadro 11. Tiempo de roturación y terraceo de las parcelas experimentales en San Miguel Tlaixpan, Texcoco.**

Referencia	área (m <sup>2</sup> )	limpieza (hr ha <sup>-1</sup> )	(R+T hr ha <sup>-1</sup> )
No roturada	1800	0.0	0.0
Rp+A	682	14.7	67.7
Rs+M	759	39.5	31.2
Rs+A+E	1032	38.8	20.5
Rd+A	1143	13.1	69.3
Rs+A	1619	1.5	27.8
S+A	713	0.0	0.0

R+T: roturación más terraceo

### 4.2. Granulometría

Los resultados del tamaño de partículas del tepetate recién roturado y del suelo, se agruparon en cinco rangos de tamaño que fueron considerados más representativos. En el Apéndice 2 se muestran los resultados obtenidos en el análisis de varianza, de los tamaños de partícula evaluados. Los resultados globales se presentan en la Figura 7.

El tamaño de las partículas inferiores a 2 mm de diámetro, que fueron las más abundantes, se encontraron en mayor cantidad en Rd+A con 48%. Sin embargo, únicamente Rs+A fue diferente de ésta, con 22% menos. En contraste, las partículas con diámetro mayor que 31.7 mm, que fueron menos abundantes, se encontraron mayormente en Rs+A con 16% del total, sin embargo, esta diferencia no fue significativa ( $P > 0.05$ ).

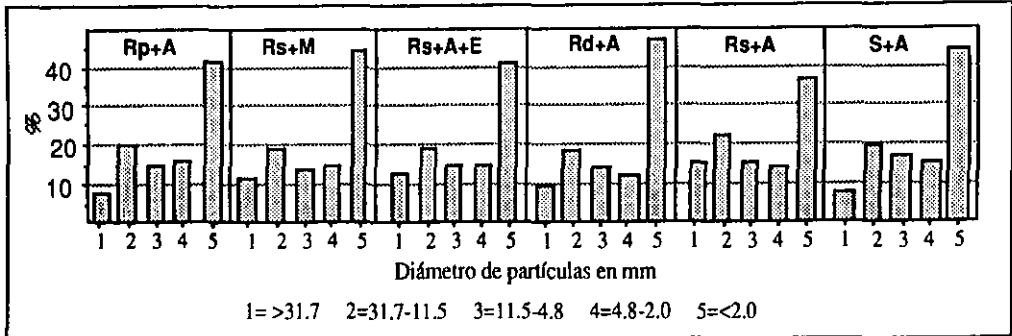


Figura 7. Tamaño de partícula después de la roturación desde 0 hasta 20 cm de profundidad.

Cabe señalar que en general las partículas de diámetro mayor que 31.7 mm se caracterizaron por ser muy friables, es decir, se rompen fácilmente. Debido a esto, el rango más abundante fue entre 11.5 y 31.7 mm de diámetro, partículas que son menos fragmentables que las anteriores. Estas mismas se encontraron en mayormente en Rs+A con 22%, que fue significativamente diferente ( $P < 0.05$ ) de Rp+A, Rs+M, Rs+M+E, Rd+A y S+A.

Los partículas de diámetros entre 4.8 y 11.5 mm, que fue el rango de partículas intermedio entre los diámetros evaluados, tuvieron fragmentación similar en todos los tratamientos y se encontraron distribuidos en una proporción desde 12 hasta 15%, de igual modo que las partículas entre 2.0 y 4.8 mm. Estas últimas han sido consideradas por Quantin *et al.* (1993) como el tamaño óptimo de agregado, y tienen un tamaño intermedio, entre medio y fino. Sin embargo, Lauffer *et al.* (1996) mencionaron que dicho rango de partículas tampoco son estables y pueden disolverse con el uso agrícola.

En la profundidad de roturación de 20-40 cm hubo diferencias significativas ( $P < 0.05$ ) en los diámetros comprendidos entre 31.7-11.5, y en las partículas menores que 2 mm. (Figura 8).

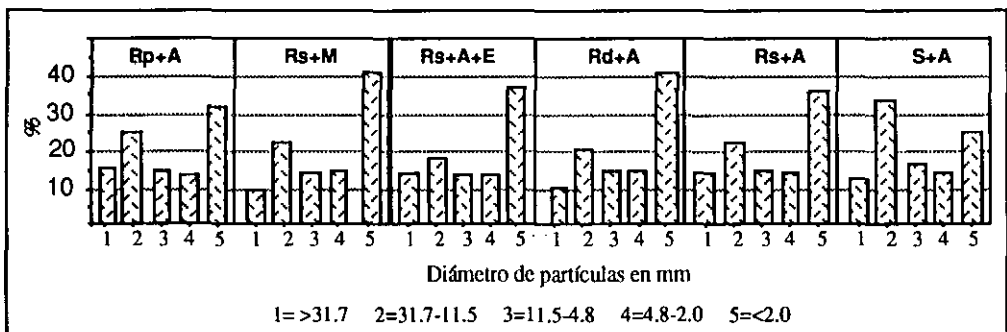


Figura 8. Tamaño de partícula después de la roturación desde 20 hasta 40 cm de profundidad.



De manera general el porcentaje de partículas menores que 2.0 mm disminuyó en los tratamientos de tepetate roturado, desde 8 hasta 10%, en comparación con la profundidad de roturación anterior (PRA). Las partículas menores que 2.0 mm de diámetro fueron mayores en Rd+A y Rs+M con 40% del total, sin embargo, en éste rango de partículas únicamente se diferenció ( $P < 0.05$ ) S+A, que disminuyó 42% en comparación con la PRA. Contrariamente en S+A las partículas comprendidas entre 31.7 y 11.5 mm, aumentaron en más de 65%. Cabe mencionar que los terrones obtenidos a partir del tepetate fueron producto de la fragmentación de bloques muy grandes, en los cuales se observaron formas prismáticas con bordes angulares, y se caracterizaron por ser friables. Mientras que en S+A, los terrones fueron producto de la agregación de las arcillas, por ello, se obtuvieron terrones más grandes que aparentan conformar una granulometría más gruesa, sin embargo, estos terrones se disuelven fácilmente en agua.

Las partículas mayores que 31.7 mm de manera general aumentaron desde 5 hasta 8% en comparación con la PRA, sin embargo, el comportamiento entre tratamientos fue similar, de igual modo que los diámetros restantes.

Es importante hacer notar que la granulometría de la profundidad desde 0 hasta 20 cm, es la que está sujeta a cambios más constantes, debido a que se encuentra directamente expuesta al efecto del intemperismo y la labranza. Por tanto, tienen influencia más directa sobre los procesos de infiltración, aireación, escurrimiento, etc., que están relacionados con el aprovechamiento de las plantas.

### **4.3. Variables climáticas**

#### **4.3.1. Precipitación**

La precipitación registrada en 1993 fue de 421 mm, su distribución ocurrió principalmente desde mayo hasta octubre. Durante la estación de crecimiento, que fue desde mayo hasta septiembre, se registraron solamente 397 mm. Esta cantidad de agua correspondió a una época muy seca, pues regularmente la precipitación media anual en esta zona es de más de 650 mm. Durante enero hasta abril cayeron solamente el 2% del total de lluvia, mientras que en noviembre y diciembre no llovió nada. En la Figura 9 se muestran los períodos de sequía que hubo durante la estación de crecimiento. En la época de siembra, mayo fue el mes más seco con solamente 17 mm de lluvia. El otro período, comprendió la segunda quincena de julio y la primera semana de agosto, en la cual, durante 25 días llovieron solamente 35.3 mm con 12 días de lluvias apreciables.

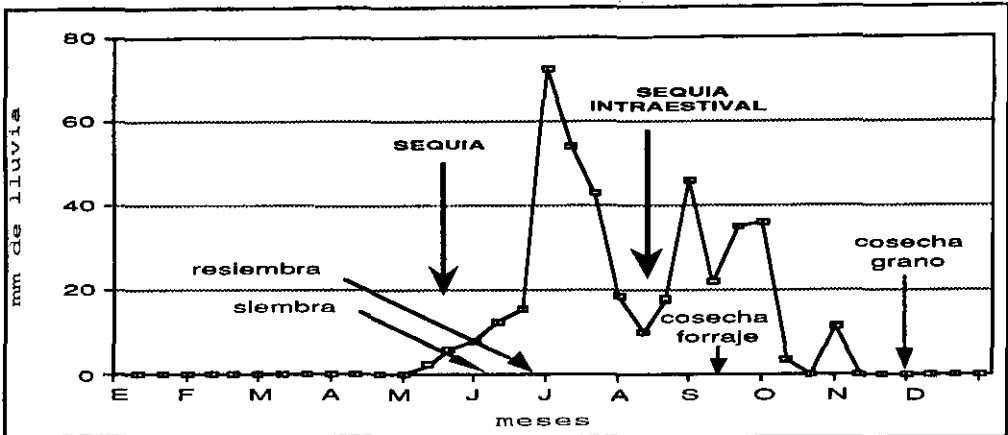


Figura 9. Comportamiento de las lluvias durante 1993 en San Miguel Tlaixpan, Texcoco.

#### 4.3.2. Temperatura

La temperatura promedio mensual durante los meses de abril a noviembre, fluctuó desde 15.2 hasta 19.8 °C, siendo el mes más cálido mayo (Figura 10). No hubo heladas en los meses de octubre a noviembre. Durante los días despejados alcanzaron temperaturas de más de 30 °C, mientras que las temperaturas más bajas ocurrieron a partir del mes noviembre (Apéndices 5-8).

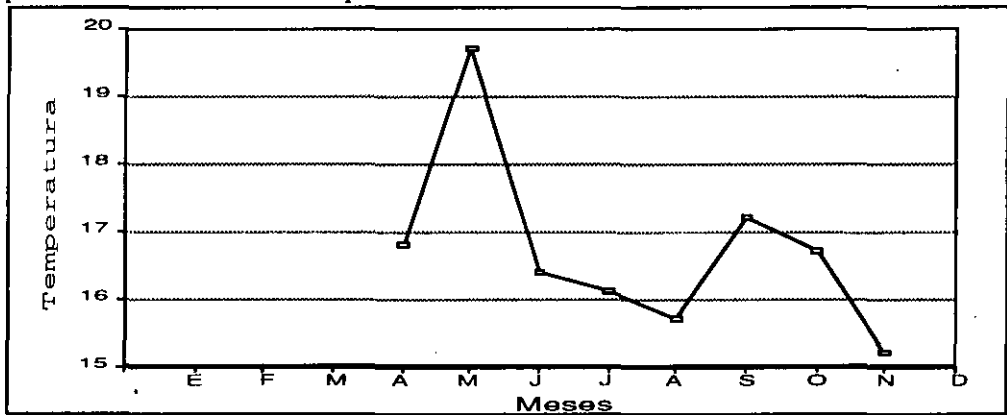


Figura 10. Temperatura media mensual, ciclo agrícola 1993. San Miguel Tlaixpan, Texcoco.

#### 4.4. Medición del escurrimiento y la pérdida de suelo

Los resultados de erosión durante 1993, mostraron un mayor coeficiente de escurrimiento ( $K_r$ ) en el tepetate sin rotura (tratamiento 0), el cual fue desde 2 hasta 9 veces mayor que en las técnicas con roturación (Cuadro 12). De los 81 eventos de lluvias que se presentaron durante el año, 36 provocaron escurrimiento, y las 8 más intensas ocasionaron más de 70% del total de la pérdida de suelo.

**Cuadro 12. Resultados mensuales de escurrimientos y erosión en las terrazas experimentales en San Miguel Tlaixpan, Texcoco, durante 1993.**

Mes	Lluvia mm	NR		Rp+A		Rs+M		Rs+A+E		Rd+A		Rs+A		S+A	
		Kr %	Ps t ha <sup>-1</sup>	Kr %	Ps t ha <sup>-1</sup>	Kr %	Ps t ha <sup>-1</sup>	Kr %	Ps t ha <sup>-1</sup>	Kr %	Ps t ha <sup>-1</sup>	Kr %	Ps t ha <sup>-1</sup>	Kr %	Ps t ha <sup>-1</sup>
Enero	4.7	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†
Febrero	0.0	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†
Marzo	0.0	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†
Abril	0.0	22.7	0.58	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†
Mayo	16.6	1.8	0.01	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†
Junio	98.2	33.4	1.56	9.2	0.39	3.4	0.13	0.2	0.01	0.6	0.04	0.7	0.01	†	†
Julio	116.0	31.9	3.49	16.7	3.95	13.4	0.65	11.0	1.09	5.6	0.60	7.1	0.49	9.2	0.43
Agosto	82.4	32.0	1.82	18.2	0.99	8.3	0.09	3.8	0.07	3.7	0.06	3.8	0.10	2.6	0.09
Sept.	88.0	12.7	1.20	8.4	0.48	5.3	0.10	2.3	0.09	1.9	0.06	1.5	0.02	1.4	0.03
Oct.	14.2	18.4	0.12	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†
Nov.	0.0	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†
Dic.	0.0	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†
<b>Total</b>	<b>42.1</b>	<b>26.9</b>	<b>8.78</b>	<b>13.2</b>	<b>5.81</b>	<b>7.9</b>	<b>0.97</b>	<b>4.7</b>	<b>1.26</b>	<b>3.0</b>	<b>0.76</b>	<b>4.0</b>	<b>0.63</b>	<b>4.9</b>	<b>0.55</b>

NR: no roturado, Kr: coeficiente de escurrimiento, Ps: pérdida de suelo, †: no hubo escurrimiento.

En el tepetate roturado el mayor escurrimiento se presentó en Rp+A, que tuvo un Kr 50% menor que el tepetate sin roturar, pero fue 40% mayor que Rs+M y desde 63 hasta 77% mayor que Rs+A+E, Rd+A, Rs+A y S+A. En las técnicas de tepetate roturado hubo desde 15 hasta 19 escurrimientos durante el año. La lluvia más intensa que ocurrió el 15 de julio, con una duración de 63 mm y una intensidad de 18 mm hr<sup>-1</sup>, ocasionó desde 60 hasta 80% de la pérdida de suelo anual.

El mayor escurrimiento en Rp+A se debió principalmente a la formación de una costra superficial llamada "costra de batidez". Esta se caracteriza por ser dura y poco permeable, e influyó de manera importante en los procesos de infiltración de agua. Al respecto Lauffer y Leroux (1996) mencionaron que la formación de un nuevo suelo a partir de tepetate roturado implica un cambio drástico en la estructura de este material, y que la formación de costras depende de procesos de la reorganización estructural de la superficie del suelo. Janeau *et al.* (1992) y Lauffer y Leroux (1996) mencionaron que los agregados menores que 2 mm de diámetro, bajo el impacto de las gotas de lluvia son responsables directos de la formación de esta capa que conduce al sellamiento de la porosidad superficial. El proceso comienza cuando el desplazamiento de estas partículas bajo la acción de la lluvia, llamado efecto de "splach" o "salto", se deposita sin organización particular, generando así un cierre progresivo de los poros superficiales. Los autores concluyeron que la energía cinética de las lluvias es el factor principal tanto de la formación y destrucción de las reorganizaciones superficiales, como de los agregados del microrelieve en el tepetate roturado.

Aun cuando se contó con una siembra de asociación gramínea-leguminosa, con lo cual se puede tener mayor cobertura vegetal y amortiguar las gotas de lluvia, el

encostramiento también influyó en la aireación del suelo, que condiciona el crecimiento de las plantas. El mayor valor de escurrimiento en Rp+A indicó mayor encostramiento desde el inicio del cultivo, lo que impidió un buen desarrollo de la cobertura vegetal. Esto pudo ser condicionado por el tipo de roturación, ya que al tratar de penetrar hasta 60 cm efectivos, se tuvo que hacer en ocasiones varias pasadas con la maquinaria para asegurar dicha profundidad de roturación. Se sospecha que esto influyó posteriormente en el arreglo estructural de la superficie del suelo, que con algunas lluvias intensas condicionó mayormente formación de costras. A manera complementaria cabe señalar que este tipo de costras, debido a su dureza, ocasionó obstrucción mecánica durante la emergencia de las plantas en Rp+A, Rs+M, Rs+A+E, Rd+A y Rs+A, por lo que fue necesario efectuar una resiembra.

Prat y Báez (1996) mencionaron que en la zona de San Miguel Tlaixpan Texcoco, la irregularidad de las lluvias en términos de intensidad y repartición en el tiempo, limita su capacidad erosiva ya que nunca se saturan los suelos. Después de cuatro años de observaciones los autores concluyeron que los eventos de lluvia que generan erosión son muy pocos al año: 16 eventos  $\geq 10$  mm, representando el 50% del total del volumen de las lluvias, provocan el 80% de erosión. La zona de estudio tuvo un tipo de lluvia que fue catalogada como de erosionabilidad (Er) mediana, con una Er anual=100. Durante el experimento en 1993 la Er calculada fue de 50.

#### 4.5. Parámetros evaluados en forraje

Hubo diferencia significativa ( $P < 0.05$ ) en la variable altura de plantas para la cebada y, ninguna diferencia significativa ( $P > 0.05$ ) en el cultivo de veza (Apéndice 3). Las variables con mayor variación a partir del diseño estadístico fueron número de plantas en cebada y peso de forraje de veza. Aún cuando en las otras variables los rangos de variación pueden ser de más del 20%, esto coincide con lo obtenido por otros investigadores que han realizado experimentos en suelos de tepetate. (Navarro *et al.*, 1993).

##### 4.5.1. Días al floración al 50% en cebada

No hubo efecto de tratamientos ( $P > 0.5$ ) en el análisis de varianza para la variable días al 50% de floración en cebada. La emisión de flores al 50% promedio en Rs+M, Rs+A+E, Rd+A y S+A fue de 57 días después de la siembra (Cuadro 13). En Rs+A ésta fue un poco anticipada, con dos días, en comparación con los demás tratamientos. Mientras que en Rp+A, la floración al 50% fue más tardía desde 4 hasta 6 días. La roturación no afectó directamente a la aparición del 50% de floración en cebada, ya sea en monocultivo, o asociada con veza.

**Cuadro 13. Emisión de flores en cebada. San Miguel Tlaixpan, Texcoco.**

Tratamientos	Días a la siembra					Días al 50% de floración
	56	58	63	66	78	
Rp+A	30.7	41.7	55.9	59.6	79.0	61
Rs+M	48.8	51.0	64.8	67.5	80.0	57
Rs+M+E	45.0	47.8	56.9	64.1	87.2	57
Rd+A	47.5	49.9	62.6	71.6	90.3	57
Rs+A	51.4	54.1	63.6	68.5	89.2	55
S+A	46.3	52.6	60.7	68.9	80.1	57

#### 4.5.2. Número de plantas

No hubo efecto de tratamientos ( $P>0.05$ ) en el número de plantas en cebada y veza. El número de plantas de cebada en los tratamientos de asociación como Rp+A, Rs+A+E, Rd+A, Rs+A y S+A, fluctuó desde 169 hasta 206 plantas  $m^{-2}$  (Cuadro 14). En Rs+M el número de plantas fue mayor desde 25.3 hasta 38.7% en comparación con los tratamientos de asociación. Esto se debió a que la cantidad de semilla utilizada en el monocultivo fue 30% mayor que en los tratamientos con asociación, en los cuales el otro 30% correspondió a semilla de veza.

**Cuadro 14. Resultados promedio de los parámetros evaluados en forraje de cebada y veza. San Miguel Tlaixpan, Texcoco, durante el ciclo agrícola 1993.**

Tratamiento	C		E	B	A	D	A		V	E	Z	A	C+V
	P	T	E	A	Flor	Altura	F		P	F			
	$m^{-2}$				%	cm	V	S	$m^{-2}$	V	S	V	S
						$t\ ha^{-1}$	$t\ ha^{-1}$				$t\ ha^{-1}$		
Rp+A	172	351	292	2.2	82	44.4	12.1	3.7	50	1.0	0.23	13.1	3.9
Rs+M	276	474	372	1.9	80	44.9	13.0	3.9	†	†	†	†	†
Rs+A+E	181	456	358	2.8	79	52.2	16.3	5.0	51	1.6	0.29	17.9	5.3
Rd+A	206	381	303	2.0	82	56.1	16.2	4.5	56	1.3	0.36	17.5	4.9
Rs+A	169	396	305	2.6	81	55.4	16.2	4.7	57	1.9	0.47	18.1	5.2
S+A	182	415	314	2.3	81	59.3	16.1	5.9	34	1.1	0.24	17.2	6.1

†: no existen por ser monocultivo, P: plantas, T: tallos, E: espigas, A: amacollamiento, C: Cebada, V: Veza.  
F: forraje, V: verde, S: seco.

El número de plantas de veza fue homogéneo en las técnicas o tratamientos de roturación, en los cuales hubo desde 50 hasta 57 plantas  $m^{-2}$ , mientras que en S+A el número de plantas fue menor desde 32 hasta 40%. Esta disminución se debió a que las plantas de veza en S+A, tuvieron algunos problemas de pudrición, lo que ocasionó la pérdida de algunas plantas y su efecto detrimental en el crecimiento de otras. Esto no fue cuantificado directamente, pero al comparar el número de plantas de veza en S+A con Rp+A, Rs+M, Rs+A+E, Rd+A y Rs+A se apreció disminución desde 14 hasta 23 plantas  $m^{-2}$ .

Las leguminosas en general son plantas susceptibles a enfermedades, y en S+A en ocasiones se tuvo problemas de drenaje, lo que favoreció la presencia de enfermedades en veza. Báez *et al.* (1995 y 1997) en otros experimentos tuvieron problemas similares en varias leguminosas cultivadas, en el mismo tipo de suelo.

#### 4.5.3. Número tallos y amacollamiento

No hubo efecto significativo ( $P>0.05$ ) de tratamientos en número de tallos y amacollamiento de cebada. El número de tallos  $m^{-2}$  promedio para los tratamientos de asociación cebada-veza, fluctuó desde 351 hasta 456. El número más bajo correspondió a Rp+A y el más alto a Rs+A+E. De igual manera el amacollamiento fluctuó desde 2.0 hasta 2.8 tallos planta<sup>-1</sup>. En Rs+M, el número de tallos  $m^{-2}$  fue mayor desde 4 hasta 26% comparado con los tratamientos de asociación, sin embargo, el amacollamiento fue el menor de todos, con 1.9 tallos planta<sup>-1</sup>. Esto pudo deberse a la competencia interespecífica.

#### 4.5.4. Altura de planta en cebada

Se presentó efecto altamente significativo ( $P<0.05$ ) para esta variable. En la comparación de medias según Tukey ( $P<0.05$ ) se distinguieron dos grupos estadísticos. En primer lugar con mayor altura de planta se ubicó S+A que fue 25% mayor que Rs+M y Rp+A, los cuales se ubicaron en el último grupo. Sin embargo, estos fueron similares con Rd+A, Rs+A y Rs+A+E (Cuadro 15). Los tratamientos que mostraron mejor comportamiento y que se ubicaron dentro del primer grupo, junto con S+A fueron: Rd+A, Rs+A y Rs+A+E. De éste último se esperaba un mejor comportamiento debido a la incorporación de estiércol.

**Cuadro 15. Comparación de medias por la técnica de Tukey para altura de planta de cebada.**

Tratamiento	Media experimental (cm)
S+A	59.300 a
Rd+A	56.067 ab
Rs+A	55.400 ab
Rs+A+E	52.200 ab
Rs+M	44.900 b
Rp+A	44.433 b

a, b: Medias con distinta literal son estadísticamente diferentes ( $P<0.05$ ).

#### 4.5.5. Rendimiento de Forraje seco de cebada

En el análisis estadístico no se observó efecto de tratamientos ( $P>0.05$ ) para esta variable. Después de cosechar muestras de forraje, la cebada alcanzó, en promedio, 80% de floración. En ese momento el rendimiento de forraje seco más alto se

encontró en S+A con  $5.9 \text{ t ha}^{-1}$ , mientras que en el tepetate roturado, el rendimiento más alto se obtuvo en Rs+A+E, que fue 15% menor que S+A. Rd+A y Rs+A fueron 24% menores que S+A, y Rp+A y Rs+M con los rendimientos más bajos, fueron 35% menores que S+A.

#### 4.5.6. Rendimiento de forraje seco de veza

No se detectó efecto de tratamientos ( $P>0.05$ ) para esta variable. La cosecha de forraje de veza se hizo durante el inicio de floración, sin embargo, su crecimiento aún se notaba muy pobre. Los rendimientos de forraje seco en veza fluctuaron desde  $0.23$  hasta  $0.47 \text{ t ha}^{-1}$ . El mayor rendimiento de forraje seco de veza se obtuvo en Rs+A, con  $0.47 \text{ t ha}^{-1}$ , que representó el doble de lo obtenido en Rp+A y S+A, los cuales fueron los tratamientos con menores rendimientos. El rendimiento de forraje seco de veza, de manera general, representó desde 3 hasta 5% de lo que se produjo en cebada (Figura 11).

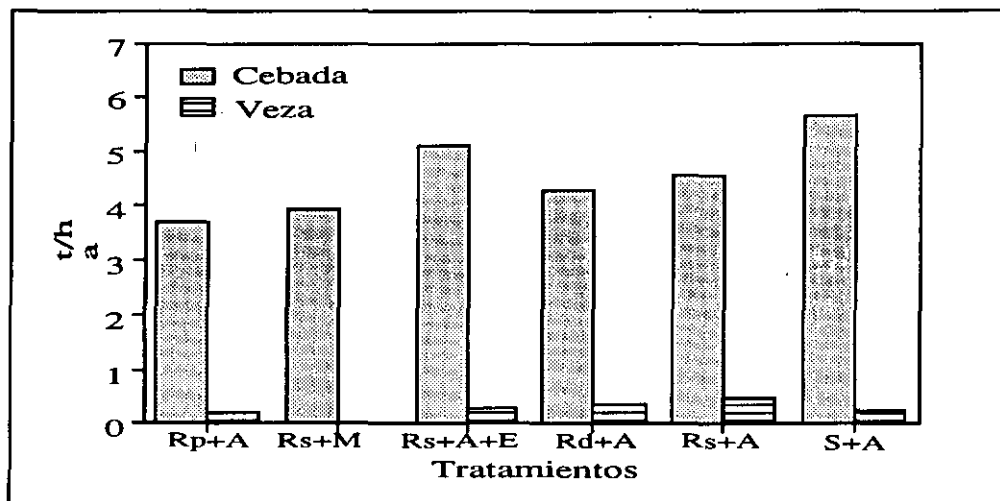


Figura 11. Rendimientos de forraje seco de cebada y veza.

#### 4.5.7. Rendimiento de forraje seco de cebada-veza

No hubo efecto de tratamientos ( $P>0.05$ ) en rendimiento de forraje seco de cebada-veza, debido a que éste fue muy pobre. La tendencia fue similar al peso de forraje seco de cebada.

El rendimiento mayor de forraje de cebada-veza, se obtuvo en S+A que fue 13% mayor que Rs+A+E, éste a su vez tuvo el mayor rendimiento de forraje seco de cebada-veza de los tratamientos de tepetate roturado. Rp+A con menor rendimiento de forraje seco de cebada-veza, fue 49% menos que S+A.

#### 4.6. Parámetros evaluados en grano

En cebada se encontraron diferencias significativas ( $P < 0.05$ ) en eficiencia, peso de 100 granos, rendimiento de grano biomasa aérea de cebada y biomasa aérea de cebada-veza (Apéndice 4). En veza se encontraron diferencias significativas ( $P < 0.05$ ) en rendimiento de grano y biomasa aérea. Las variables de respuesta con mayor variación de acuerdo a lo observado en el ANDEVA, fueron número de plantas en cebada y peso de forraje de veza. Aún cuando en las otras variables los rangos de variación pueden ser de más de 20%, estos rangos de variación son comparables con lo obtenido por otros investigadores que han realizado ensayos con tepetate en campo (Navarro *et al.* 1993).

##### 4.6.1. Número de plantas

No hubo efecto de tratamientos ( $P > 0.05$ ) en el análisis de varianza para esta variable en cebada y veza. El mayor número de plantas  $m^{-2}$  de cebada se obtuvo en Rs+M, desde 22 hasta 56% mayor que en Rp+A, Rs+A+E, Rd+A, Rs+A y S+A (Cuadro 16) Mientras que el menor número de plantas  $m^{-2}$  se obtuvo en Rs+A, desde 14 hasta 44% menos. Cabe señalar que esta disminución pudo deberse a arrastre de semilla por la escorrentía, o por mala distribución de la semilla durante la siembra. Por otra parte el mayor número de plantas  $m^{-2}$  en Rs+M, se debió a que la cantidad de semilla de cebada utilizada fue 30% mayor que en los tratamientos con asociación, en los cuales el otro 30% correspondió a semilla de veza.

**Cuadro 16. Resultados promedio de los parámetros evaluados en grano de cebada y veza. San Miguel Tlaixpan, Texcoco, durante el ciclo agrícola 1993.**

Tratamiento	Número			Am	Altura cm	Rendimiento			PC	NGE	Número granos $m^{-2}$	IC	EE	Veza C+V	
	P	T	E			Paja	Grano	BA						B	A
	$m^{-2}$					$t\ ha^{-1}$									
Rp+A	191	353	277	2.0	38.6	2.1	1.6	3.6	3.30	18	4617	0.41	0.81	0.4	4.0
Rs+M	245	429	307	1.8	52.8	3.5	2.0	6.0	3.62	23	7022	0.41	0.72	†	6.0
Rs+A+E	125	334	272	3.0	49.6	2.8	2.6	5.2	3.79	23	6558	0.44	0.82	1.0	6.2
Rd+A	132	275	249	2.3	56.5	2.9	2.2	5.2	3.75	27	6409	0.45	0.92	1.6	6.8
Rs+A	107	309	290	3.1	67.8	3.7	3.1	7.0	3.91	29	8436	0.46	0.94	2.4	9.4
S+A	152	305	243	2.1	45.3	2.3	2.5	4.4	3.62	24	5808	0.47	0.80	0.7	5.1

P: plantas, T: tallos, E: espigas, C: Cebada, Am: amacollamiento, V: Veza, IC: Índice de cosecha, EE: Emisión de espigas, NGE: número de granos por espiga, PC: peso de 100 granos, BA: biomasa aérea, †: No existen por ser monocultivo.

El número de plantas  $m^{-2}$  de veza fue homogéneo en los tratamientos de roturación, mientras que en S+A fue menor desde 80 hasta 85% en comparación con Rp+A, Rs+M, Rs+A+E, Rd+A y Rs+A. Esto se debió a que las plantas de veza en S+A tuvieron problemas de pudrición, por exceso de humedad, que hubo en algunas



ocasiones, ello ocasionó la pérdida de algunas plantas y efecto detrimental en el crecimiento de otras. El daño no fue cuantificado directamente, pero al comparar el número de plantas de veza en S+A con los tratamientos de roturación, se apreció disminución desde 29 hasta 36 plantas  $m^{-2}$ . Cabe señalar que S+A correspondió a un suelo arcilloso, que tuvo mayor capacidad de retención de humedad que las parcelas roturadas. Debido a esto se favoreció la pudrición de plantas de veza cuando hubo exceso de humedad en el suelo. Báez *et al.* 1995 y 1997 tuvieron problemas similares en varias plantas de leguminosas, cultivadas en el mismo tipo de suelo que se utilizó en este experimento, y aun en el mismo tepetate cuando se tuvo exceso de humedad.

#### 4.6.2. Número de tallos y amacollamiento

No se detectaron diferencias significativas para estas variables ( $P>0.05$ ). El número de tallos de cebada en los tratamientos de asociación, fluctuó desde 275 en Rd+A hasta 353  $m^{-2}$  en Rp+A, con un amacollamiento de 2.0 y 3.1 tallos por planta, respectivamente.

En Rs+M el número de tallos  $m^{-2}$  fue mayor desde 18 hasta 36%, comparado con los tratamientos de asociación, sin embargo, el amacollamiento tuvo el menor valor de todos con 1.8 tallos por planta. El número de tallos estuvo determinado por el número de plantas ( $R^2=0.75$ ) (Apéndice 9).

Al relacionar el número de plantas con el amacollamiento, que es la relación del número de tallos entre número de plantas, se encontró relación negativa ( $R^2=0.70$ ), ello indicó una tendencia inversamente proporcional entre el número de tallos y el número de plantas (Apéndice 10). De lo anterior se deduce que el amacollamiento actuó como un factor de compensación, es decir, que donde hubo más plantas se emergieron menos tallos y viceversa.

#### 4.6.3. Emisión de espigas

Hubo diferencias significativas entre tratamientos ( $P<0.05$ ) en emisión de espigas de cebada. Después de calcular con esta variable la eficiencia, se tuvo que Rs+A y Rd+A tuvieron más eficiencia, y fueron 22% mayores que Rs+M, el cual tuvo el menor porcentaje (72%), pero similar a los porcentajes de Rs+A+E, Rp+A y S+A (Cuadro 17).

Aun que Rs+M tuvo mayor número de tallos que Rp+A, Rs+A+M, Rd+A, Rs+A y S+A, muchos de estos tallos no llegaron a formar espigas. La causa pudo ser menor disponibilidad de agua, ocasionada por competencia interespecifica.

**Cuadro 17. Comparación de medias por la técnica de Tukey para emisión de espigas en cebada.**

Tratamiento	Emisión de espigas †	Emisión de espigas %
Rs+A	5.5 a	0.94 a
Rd+A	5.4 a	0.92 a
Rs+A+E	5.3 a b	0.82 a b
Rp+A	5.1 a b	0.81 a b
S+A	5.1 a b	0.80 a b
Rs+M	5.0 b	0.72 b

a, b: Medias con distinta literal son estadísticamente diferentes ( $P < 0.05$ ). †: Valores angulares.

El escurrimiento registrado en Rs+M, fue el segundo más alto, sin embargo, en Rp+A donde hubo mayor escurrimiento, la eficiencia fue 9% mayor que en Rs+M. Se asume que junto con el escurrimiento también se perdió fertilizante, por lo que se infiere que también influyó la falta de algunos nutrientes.

Una ventaja que pudieron tener los tratamientos de asociación, fue el aprovechamiento del nitrógeno fijado por la leguminosa, en este caso la veza, que según Edman, citado por Cuatle (1979) puede ser hasta de 92 kg ha<sup>-1</sup>.

#### 4.6.4. Peso de 100 granos

Hubo efecto de tratamientos ( $P < 0.05$ ) en el peso de 100 granos. El mayor peso se obtuvo en Rs+A, Rs+A+E y Rd+A, los cuales tuvieron desde 12 hasta 16% más que Rp+A, pero este fue similar con S+A y Rs+M (Cuadro 18).

**Cuadro 18. Comparación de medias por la técnica de Tukey para peso de 100 granos en cebada.**

Tratamientos	Peso (g)
Rs+A	3.91 a
Rs+A+E	3.79 a
Rd+A	3.75 a
S+A	3.62 a b
Rs+M	3.62 a b
Rp+A	3.30 b

a, b: Medias con distinta literal son estadísticamente diferentes ( $P < 0.05$ ).

#### 4.6.5. Número de granos m<sup>-2</sup> y granos por espigas en cebada

El análisis de varianza no mostró diferencias significativas ( $> P 0.05$ ) en esta variable. El mayor número de granos m<sup>-2</sup> se obtuvo en Rs+A que fue 17% mayor que Rs+M. Mientras que Rp+A fue 45% menor que Rs+A. Rs+A tuvo menor número de espigas m<sup>-2</sup>, sin embargo, en granos por espiga fue 21% mayor que en Rs+M.

La mayor competencia entre plantas en Rs+M influyó en la emisión de espigas y en número de granos por espiga, y consecuentemente en el número de granos m<sup>-2</sup>. Adams (1967) mencionó que al incrementar el número de espigas m<sup>-2</sup> podría encontrarse una reducción en el número de granos por espiga y en el peso de grano.

#### 4.6.6. Rendimiento de grano de cebada

El análisis de varianza detectó diferencias significativas entre tratamientos ( $P < 0.05$ ) en el rendimiento de grano. Se encontró que Rs+A, tuvo 48% más rendimiento que Rp+A, pero este fue similar con Rs+A+E, S+A, Rd+A y Rs+M (Cuadro 19). Aun que S+A y Rs+A+E se encontraron en el primer grupo de la comparación de medias, y presentaron un comportamiento regular en cuanto a floración al 50%, número de tallos, amacollamiento, emisión de espigas y rendimiento de forraje seco, sus producciones de grano fueron desde 16 hasta 19% menores que Rs+A.

**Cuadro 19. Comparación de medias por la técnica de Tukey para rendimiento de grano de cebada.**

Tratamientos	Rendimiento t ha <sup>-1</sup>
Rs+A	3.1 a
Rs+A+E	2.6 a b
S+A	2.5 a b
Rd+A	2.2 a b
Rs+M	2.0 a b
Rp+A	1.6 b

a, b: Medias con distinta literal son estadísticamente diferentes ( $P < 0.05$ ).

Es importante mencionar que los rendimientos de grano de los tratamientos de Rs+A y Rs+A+E fueron mayores que lo obtenido en S+A. Esto demostró que el tepate roturado fue potencialmente productivo desde el primer año de cultivo.

Los resultados obtenidos, permitieron afirmar que los rendimientos de grano, con excepción de Rp+A fueron excelentes, ya que ellos se consideraron como mayores o iguales a la media nacional, que es de 2 t ha<sup>-1</sup> (INEGI, 1988). Por otra parte, estos resultados también son aceptables si se considera que la producción de grano de cebada, de la variedad "esmeralda" que informó el INIFAP (1993) en condiciones experimentales, fue de 3.6 t ha<sup>-1</sup>.

A la par del crecimiento de las plantas en Rs+A hubo mejor floración al 50%, amacollamiento y altura de planta. Así mismo, al finalizar el cultivo este tratamiento tuvo mayor peso de 100 granos que en Rp+A, Rs+M, Rs+A+E, Rd+A y S+A, lo que se expresó como el mejor rendimiento.

Un factor que pudo influir directamente en el mayor rendimiento de grano fue la mayor infiltración de agua. En los resultados obtenidos de las mediciones de erosión, se observó en Rs+A tuvo uno de los coeficientes de escurrimiento más bajos con 4.0, y pérdida de suelo estimada de 0.6 t ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>, que indicó erosión baja (Cuadro 20). Se infiere que esta infiltración y menor pérdida de nutrientes por escurrimiento, fue favorecida por menor cantidad de agregados que fueron inferiores que 2 mm de diámetro, los cuales se encontraron 10% menor que en Rp+A, Rs+M,

Rs+A+E, Rd+A y S+A. Además de la amplia cobertura vegetal que tuvieron los cultivos en Rs+A.

**Cuadro 20. Resultados globales del escurrimiento y erosión en San Miguel Tlaixpan, Texcoco, Estado de México, durante 1993.**

Tratamientos	No. eventos	lluvia m m	K global	Sedimento t ha <sup>-1</sup>
sin roturar	36	373	26.9	8.8
Rp+A	19	278	13.2	5.8
Rs+M	18	276	7.9	1.0
Rs+A+E	18	276	4.7	1.3
Rd+A	17	272	3.0	0.8
Rs+A	15	225	4.0	0.6
S+A	15	211	4.9	0.6

K: Coeficiente de escurrimiento.

En Rp+A se encontró el menor rendimiento de grano, igualmente todas las variables evaluadas anteriormente como floración, altura, forraje etc., mostraron los valores más bajos, y consecuentemente la expresión del rendimiento de grano también fue bajo. Esto se atribuyó a la menor disponibilidad de humedad y nutrimentos por arrastre de los escurrimientos que fueron mayores. Aún cuando se hizo una roturación de 60 cm de profundidad para tener un mayor reserva de agua, no ocurrió así, debido a baja infiltración y aireación ocasionada por la formación de "costras" semipermeables en la superficie del terreno.

Aunque Rp+A no tuvo la granulometría más fina, el tamaño de partículas mayores que 31.7 mm de diámetro, fue 6 % menor comparado con los otros tratamientos. De alguna manera en este tratamiento el encostramiento fue mayor y limitó el crecimiento de las plantas.

En Rs+M el rendimiento de grano se ajustó de acuerdo a la producción media nacional en 2 t ha<sup>-1</sup>. Este resultado fue aceptable si se considera el agrosistema en un tepetate recién roturado y cultivado. En Rs+M hubo mayor número de plantas y tallos, sin embargo, es importante hacer notar que en emisión de espigas por tallos fue el menor de todos los tratamientos. Esto indicó que durante la estación de crecimiento hubo limitantes debido a mayor competencia entre plantas, deficiencia de humedad por el escurrimiento superficial, y también se sospecha que hubo limitante de nutrimentos para satisfacer totalmente la demanda del cultivo. Báez y Prat (1996) al medir el contenido de nitratos de algunas muestras de agua, recolectadas de los lotes de escurrimiento, registraron pérdida de nitrógeno, ocasionada por escurrimiento el cual tiende a aumentar cuando el coeficiente de escurrimiento es mayor (Apéndices 11 y 12).

En Rp+A también ocurrió mayor pérdida de nutrimentos, sin embargo, en la

emisión de espigas por tallos fue 10% mayor que Rs+M. Esto indicó que hubo efecto en la fijación de nitrógeno por la veza y aprovechado por la cebada, evento que no ocurrió en el monocultivo.

Rs+A+E fue uno de los tratamientos que tuvieron mayor rendimiento de grano de cebada, número de tallos, emisión de espigas, altura de planta, mayor rendimiento de forraje y menor escurrimiento. Sin embargo, su rendimiento medio de grano fue 16% menor que el obtenido en Rs+A. Un factor que pudo influir en esta disminución, fue la incorporación del estiércol en estado húmedo.

Foth y Ellis (1988) mencionaron que las bacterias y hongos que son responsables de la mineralización de la materia orgánica, utilizan grandes cantidades de energía en su descomposición, cuando se trata de materiales poco degradados, como es el caso del estiércol húmedo. Esto provoca que en lugar de liberar iones de  $\text{NH}_4$  y  $\text{NO}_3$ , productos de la misma mineralización, el nitrógeno sea consumido por dichos organismos (inmovilización del nitrógeno), ocasionando así, competencia con las plantas.

Simpson (1986) mencionó que en estiércoles y pajas, se presenta un elevado porcentaje de su contenido total de nutrientes en forma de complejos orgánicos, los cuales tienen que ser mineralizados antes de liberar nutrientes asimilables, por lo que no todos son asimilados por el primer cultivo establecido, después de su aplicación. Ortíz y Ortíz (1995) mencionaron que una excelente proporción carbono:nitrógeno en el suelo, es 10:1 en el humus. Un material que se descompone lentamente y que contiene poco nitrógeno, como paja de trigo y cebada, tienen relación 80:1. El estiércol de bovino descompuesto, normalmente tiene una relación 20:1. El estiércol utilizado en Rs+A+E, tuvo una relación carbono:nitrógeno 27:1, por ello se deduce que la calidad del estiércol empleado en este tratamiento fue de calidad regular.

El rendimiento de grano de Rd+A fue  $2.2 \text{ t ha}^{-1}$ , lo cual lo ubicó en un nivel intermedio en comparación con Rp+A, Rs+M, Rs+A+E, Rs+A y S+A. Tuvo un comportamiento regular en cuanto a número de tallos, emisión de espigas y rendimiento de forraje. En altura de planta fue de los mejores y tuvo amplia cobertura vegetal. El escurrimiento y arrastre de sedimentos fue los menores. Aun cuando Rd+A fue el tratamiento con mayor cantidad de partículas inferiores a 2 mm de diámetro, la cobertura que desarrollaron la cebada y veza, fue favorable para amortiguar el efecto de las gotas de lluvia.

S+A, tuvo  $2.5 \text{ t ha}^{-1}$ , que lo ubicó entre los mejores rendimientos de grano. Los registros de número de tallos, emisión de espigas, altura de planta y producción de

forraje fueron buenos; y en escurrimiento fue bajo, el rendimiento de grano fue 30% menor que Rs+A. Se asume que este decremento se debió a las condiciones de sequía que prevalecieron durante éste ciclo de lluvias, e influyeron conjuntamente en el tipo de suelo, el cual fue de una textura arcillosa. Además durante la estación de crecimiento, en los períodos de sequía, la reserva de agua que se encuentra en el suelo no siempre esta disponible debido a la adsorción del agua por el tipo de arcillas de estructura 2:1.

#### 4.6.7. Biomasa aérea de cebada

El análisis de varianza para esta variable no mostró diferencia significativa para el efecto de tratamientos ( $P>0.05$ ). La mayor producción de biomasa aérea se obtuvo en Rs+A que fue 14% mayor que Rs+M; 26% mayor que Rs+A+E y Rd+A; 37% mayor que S+A y 49% mayor que Rp+A. Esta variable estuvo relacionada con el rendimiento de grano con una  $r^2=0.95$ .

#### 4.6.8. Índice de cosecha de cebada

No se detectaron diferencias significativas ( $P>0.05$ ) en esta variable. El índice de cosecha obtenido fluctuó desde 0.41 en Rp+A hasta 0.47 en S+A. Estos resultados se ajustan a lo obtenidos por Alcalá, 1990, quien informó índices similares.

#### 4.6.9. Rendimiento de grano de veza

Hubo efecto de tratamientos ( $P<0.05$ ) en esta variable. Los rendimientos mayores se obtuvieron en Rs+A y Rd+A, los cuales superaron a Rs+A+E y S+A. Estos fueron 56 y 74% respectivamente, menores que Rs+A, y estadísticamente similares con Rd+A. Este grupo por su parte fue mayor que Rp+A, el cual tuvo una producción 83% menor que Rs+A y 78% menor que Rd+A, Rp+A, sin embargo, fue similar con Rs+A+E y S+A (Cuadro 21).

**Cuadro 21. Comparación de medias por la técnica de Tukey para rendimiento de grano de veza.**

Tratamientos	Rendimiento de grano (t ha <sup>-1</sup> )
Rs+A	0.88 a
Rd+A	0.67 ab
Rs+A+E	0.39 bc
S+A	0.23 bc
Rp+A	0.15 c

a, b, c: Medias con distinta literal son estadísticamente diferentes ( $P<0.05$ ).

El rendimiento de grano de veza en las asociaciones, fue desde 70 hasta 90% menor que el rendimiento de grano de cebada (Figura 12).

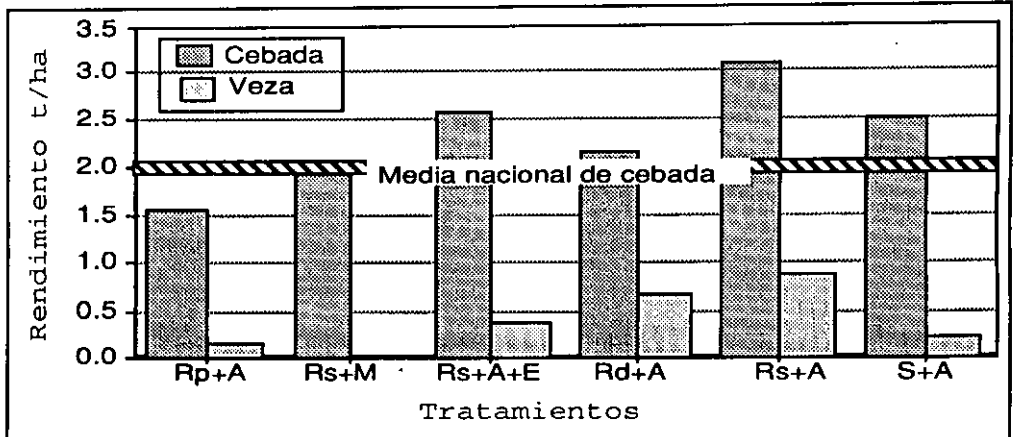


Figura 12. Rendimientos de grano de cebada y veza.

Estos resultados son excelentes si se comparan con el rendimiento de grano de veza en monocultivo desde 0.5 hasta 1.2 t ha<sup>-1</sup> obtenido a partir de parcelas de tepetate roturado, cultivado en condiciones similares a los tratamientos estudiados (Chora *et al.*, 1994).

#### 4.6.10. Biomasa aérea de veza

En análisis de varianza para esta variable, mostró diferencias altamente significativas ( $P < 0.05$ ). La mayor biomasa aérea en veza se tuvo en Rs+A, Rd+A y Rs+A+E, los cuales fueron mayores que S+A que tuvo un rendimiento 71% menor que Rs+A del cual fue diferente. S+A fue estadísticamente similar con Rd+A, Rs+A+E y S+A. Este grupo a su vez fue mayor que Rp+A, el cual fue 83% menor que Rs+A y 75% menor que Rd+A, de los cuales fue diferente, sin embargo, fue similar con Rs+A+E y S+A (Cuadro 22). A pesar que durante la cosecha del forraje, la veza tuvo un desarrollo muy pobre, al finalizar el cultivo el desarrollo fue mayor y se encontraron diferencias muy marcadas, principalmente en Rs+A.

Cuadro 22. Comparación de medias por la técnica de Tukey para la variable biomasa aérea de veza.

Tratamiento	Biomasa aérea (t ha <sup>-1</sup> )
Rs+A	2.4 a
Rd+A	1.6 a b
Rs+A+E	1.0 a b c
S+A	0.7 b c
Rp+A	0.4 c

a, b, c: Medias con distinta literal son estadísticamente diferentes ( $P < 0.05$ ).

El crecimiento de veza de manera general fue heterogéneo, se encontraron plantas con alturas desde unos centímetros hasta más de 1 m, principalmente en Rs+A y

Rd+A. El número de vainas  $m^{-2}$  también fue muy variable y se encontraron desde 83 en Rp+A, hasta 399 en Rs+A (Cuadro 23). Esto dificultó la cosecha de grano en cebada, debido a que el hábito de crecimiento de la veza es indeterminado. El comportamiento de los tratamientos en la producción de veza tuvo una tendencia similar con la cebada.

**Cuadro 23. Resultados promedio de algunos parámetros evaluados en veza.**

Tratamiento	Número		Rendimiento grano $t\ ha^{-1}$	Paja aérea $t\ ha^{-1}$
	plantas	vainas		
	$m^{-2}$			
Rp+A	31	83	0.15	0.37
Rs+M.	†	†	†	†
Rs+A+E	30	187	0.39	0.61
Rd+A	36	382	0.67	0.93
Rs+A.	42	399	0.88	1.52
S+A	6	132	0.23	0.47

†: No se encuentra por ser monocultivo.

Chora *et al.* (1994) obtuvieron rendimientos de biomasa de veza en tepetates roturados de primer año en monocultivo desde 4.4 hasta 5.4  $t\ ha^{-1}$ . Estos resultados de referencia fueron obtenidos cerca de las áreas experimentales, en San Miguel Tlaixpan, para condiciones similares de Rs+A+E, Rs+A y Rd+A.

#### 4.6.11. Biomasa aérea de cebada-veza

La biomasa aérea para cebada y cebada-veza, mostró diferencias altamente significativas por efecto de tratamientos ( $P < 0.05$ ). En la comparación de medias se definieron tres grupos. Las mayores biomásas aéreas fueron de Rs+A, Rd+A, Rs+A+E y Rs+M. Mientras que S+A que estuvo en segundo sitio, fue 46% menor que Rs+A. Sin embargo, S+A fue similar con Rd+A, Rs+A+E y Rs+M. A su vez, éste grupo de tratamientos fue mayor que Rp+A. Este fue 57% menor que Rs+A y 41% menor que Rd+A. Sin embargo Rp+A fue similar con Rs+A+E, Rs+M y S+A (Cuadro 24).

**Cuadro 24. Comparación de medias por la técnica de Tukey para biomasa aérea de cebada-veza.**

Tratamiento	Biomasa aérea ( $t\ ha^{-1}$ )
Rs+A	9.4 a
Rd+A	6.8 a b
Rs+A+E	6.2 a b c
Rs+M	6.0 a b c
S+A	5.1 b c
Rp+M	4.0 c

a, b, c: Medias con distinta literal son estadísticamente diferentes ( $P < 0.05$ ).



#### 4.6.12. Índice de eficiencia entre monocultivo y asociación

En el índice de eficiencia entre monocultivo y asociación, es pertinente aclarar que los datos obtenidos de Rs+M correspondieron a la producción de grano de cebada que ocupó 100% del área experimental, mientras que en los tratamientos de asociación, la cebada ocupó el 75% y la veza 25%. Hubo efecto de tratamientos ( $P < 0.05$ ). Los mayores índices se obtuvieron en Rs+A, Rs+A+E, Rd+A y S+A. Estos fueron mayores que Rp+A, que esta en el segundo grupo, pero éste fue similar con Rd+A y S+A. El segundo grupo fue superior que Rs+M pero este a su vez fue similar con S+A y Rp+A (Cuadro 25). La diferencia entre el índice más alto (Rs+A) y el índice más bajo (Rs+M) fue 57%. De estos resultados se infiere que la veza influyó en el rendimiento de grano de cebada.

**Cuadro 25. comparación de medias por la técnica de Tukey para el índice de eficiencia entre monocultivo y asociación.**

Tratamiento	Índice de eficiencia
Rs+A	2.33 a
Rs+A+E	2.07 a
Rd+A	1.87 a b
S+A	1.67 a b c
Rp+A	1.13 b c
Rs+M	1.00 c

a, b, c: Medias con distinta literal son estadísticamente diferentes ( $P < 0.05$ ).

El rendimiento promedio de grano en Rs+M fue el segundo más bajo de todos los tratamientos con  $2.0 \text{ t ha}^{-1}$ , y el número plantas de cebada  $\text{m}^{-2}$  fue aproximadamente 32% mayor que en las asociaciones. La emisión de tallos tuvo una tendencia negativa provocada por menor amacollamiento en función del número de plantas. Aunque hubo un notable aumento en el número de granos, que compensó el rendimiento de grano, éstos fueron pequeños y con menos peso. En éste tratamiento hubo mayor densidad de siembra, pero disminución en la calidad comercial del grano, debido en parte por la sequía. En las asociaciones, con excepción de Rp+A, el amacollamiento fue mayor, los granos fueron más pesados y la calidad del grano comercial también fue mejor.

Con base en lo anterior se pudo deducir que las asociaciones de leguminosas, fueron más eficientes en su rendimiento y aumentaron la cantidad de grano. En Rs+A con mayor rendimiento, el índice fue el doble que en Rs+M. (Apéndice 13).

#### 4.7. Discusión en función de costos

El precio de roturación y construcción de las terrazas por hectárea calculado por el grupo GIT (1993), con un Caterpillar D7 o D8 fue desde \$ 6,000 hasta  $8,000 \text{ ha}^{-1}$ . En la actualidad se hicieron algunos ajustes y se determinó que el costo actual puede ser de

16,600 \$ ha<sup>-1</sup> en la roturación simple, 21,580 \$ ha<sup>-1</sup> en la roturación profunda y 24,900 \$ ha<sup>-1</sup> en la roturación doble. La diferencia de costo entre la roturación simple y la roturación profunda es de 30%, mientras que la diferencia entre roturación simple y roturación doble es hasta de 50%.

De acuerdo con los costos de roturación, los mejores tratamientos, fueron Rs+A+E y Rs+A, que además tuvieron los mayores rendimientos de forraje y grano. Sin embargo, tomando en cuenta que la aplicación de estiércol implicó un costo mayor en transporte y mano de obra para su incorporación, fue Rs+A el tratamiento en el que se pudo obtener mayores rendimientos y eficiencias a menor costo (Cuadro 26). También debe considerarse que muchas veces es difícil conseguir las cantidades necesarias de estiércol en la zona de influencia de San Miguel Tlaixpan, para abonar los tepetates. Por ello es recomendable incorporar como materia orgánica, los rastrojos de las cosechas.

**Cuadro 26. Rendimiento de forraje y grano, y costos de roturación y terraceo, a febrero de 1998.**

Tratamiento	Forraje	Grano	Costo de R+T \$ ha <sup>-1</sup>
	t ha <sup>-1</sup>		
Rp+A	3.9	1.6	21.580
Rs+M	3.9	2.0	16.600
Rs+A+E	5.3	2.6	16.600
Rd+A	4.9	2.2	24.900
Rs+A	5.2	3.1	16.600
S+A	6.1	2.5	0000

R+T: roturación más terraceo.

A pesar que una profundidad de roturación de 60 cm proporcionó una mayor capacidad de reserva de agua en el suelo, en comparación con los 45 cm de roturación de los otros tratamientos, las alturas y la distribución en el tiempo de las precipitaciones, así como la formación rápida de costras en la superficie del suelo que limitó la infiltración, ocasionó

que niveles menores de agua a capacidad de campo, por lo tanto no es conveniente roturar a 60 cm de profundidad. Con la roturación doble se obtuvieron resultados similares en las variables de respuesta que en la roturación simple, pero el costo por roturación se incrementó 50% y el rendimiento de grano, que se obtuvo, fue 29% menos que en la roturación simple. En otros experimentos que se efectuaron durante los tres siguientes años a este estudio, se observó un comportamiento similar entre roturación simple y roturación doble (Báez *et al.*, 1995).

## 5. CONCLUSIONES

El tepetate fue productivo cuando se emplearon cultivos alternativos como la asociación cebada-veza.

Suelo más asociación y roturación simple más asociación más estiércol tuvieron mayores rendimientos de forraje, mismos que se reflejaron en sus componentes.

Roturación simple más asociación y ésta más estiércol tuvieron mayores rendimientos de grano.

La roturación profunda no aumentó los rendimientos de forraje y grano.

No hubo diferencia, de rendimientos de forraje seco y grano, entre roturación simple más asociación y roturación doble más asociación.

Hubo una marcada tendencia de que los rendimientos de forraje y grano de cebada, de las asociaciones con veza, fueron mayores que los obtenidos en roturación simple más monocultivo de cebada.

Al aplicar estiércol en las parcelas con roturación simple más asociación el rendimiento de forraje fue mayor, siendo superado en rendimiento de grano, por roturación simple más asociación.

## 6. Bibliografía

1. **Alcalá M.** 1990. Evaluación del efecto de la veza como abono verde en el cultivo de cebada. Tesis de Maestría del Colegio de Postgraduados. Montecillos, México. 96 p.
2. **Adams M.** 1967. Basic yield component compensation in crop plants with special reference to the field bean. *Crop Sci.* 7: 505, 510 p.
3. **Alvares D. J.** 1992. Análisis de la microflora asociada al manejo agroecológico en la recuperación de tepetates. En memorias del Primer Simposio Internacional sobre Suelos Volcánicos Endurecidos. México. *Revista Terra* 10 (Número especial): 419 p.
4. **Arias H. M., Miranda Ma. E., Gabriels D.** 1992. Dinámica de erosión en tepetates roturados. En memorias del Primer Simposio Internacional sobre Suelos Volcánicos Endurecidos. México. *Revista Terra* 10 (Número especial): 370-373 p.
5. **Aeppli G., Escönhals E.** 1975. Los suelos de la cuenca alta de Puebla-Tlaxcala y sus alrededores. Fundación alemana para la investigación científica. Proyecto Puebla-Tlaxcala. VI. 26 p.
6. **Avila H.** 1963. Recuperación de suelos erosionados de Chapingo. México, con plantaciones forestales. Tesis de licenciatura. Universidad Autónoma Chapingo, México.
7. **Báez A., Ascencio E., Prat C.** 1995. Rehabilitación agrícola de un tepetate café t3 caso I: Resultados agronómicos en '93 y '94'. En memorias del XXVI Congreso Nacional de la Ciencia del suelo. CD. Victoria, Tams. 138 p.

8. **Báez A., Ascencio E., Prat C.** 1997. Resultados agronómicos de la recuperación de tepetates t<sub>3</sub> cultivados en 1996. Informe de actividades de la rehabilitación de suelos volcánicos y endurecidos de América Latina (Chile, Ecuador y México). Sección Física de suelos del Colegio de Postgraduados. México.
9. **Brady N. C.** 1974. The nature and propieties of soils. Edit. MacMillan. Publishing Co. Inc., 8th Edition. USA 639 p.
10. **Chora B. Marquez A., Báez A y Prat C.** 1994. Premiers Résultats d'Essais Agronomiques Visant à la Réhabilitation Agricole du Tepetate t<sub>3</sub> (Texcoco, Mexique): II. Essais Agronomiques. En memorias del 15<sup>o</sup> Congreso Mundial de la Ciencia del Suelo. Acapulco, México. 6b: 239- 240 p.
11. **Cuatle F.** 1979. Efecto de la fertilización, fumigación del suelo e inoculación con *Rhizobium*, sobre la nodulación, contenido de nitrógeno y rendimiento de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.), Chapingo México. 20-23 p.
12. **Donahue R. L., Miller R.W., Shickluna J.C.** 1977. Soils and plant growth, 4a edition. Prentice-Hall, New York, NY. 626 p.
13. **Dubroeuq D.** 1992. Los tepetates de la región de Jalapa Veracruz (México): un endurecimiento de origen pedológico. Rehabilitación y Conservación. En memorias del Primer Simposio Internacional sobre Suelos Volcánicos Endurecidos. México. Revista terra, 10 (Número especial): 133-139 p.
14. **Etchevers J.D., López R. M., Zebrowski C., Peña D.** 1992 a. Características químicas del tepetate de referencia de los estados de México y Tlaxcala, México. En memorias del Primer Simposio Internacional sobre Suelos Volcánicos Endurecidos. México. Revista Terra, 10 (Número especial): 171 p.
15. **Etchevers J.D., López R. M., Zebrowsky C., Peña D.** 1992 b. Fertilidad de los tepetates de la vertiente occidental de la sierra nevada (México). En memorias del Primer Simposio Internacional sobre Suelos Volcánicos Endurecidos. México. Revista Terra, 10 (Número especial): 383 p.

16. **Ferrera R.** 1992. Papel de los microorganismos en la recuperación de suelos marginales. Primer Simposio Internacional sobre Suelos Volcánicos Endurecidos. México. Revista Terra, 10 (Número especial): 408 p.
17. **Figueroa B.** 1991. Manual de predicción de perdidas de suelo por erosión. SARH, dirección general de política agrícola. 10 p.
18. **Fluery. A., H. Navarro G. y M. Sebillote.** 1985. Essai d'analyse critique des choix variétaux des agriculteurs pour la producción du maïs en limite d'aire de culture. C.R. Acad. Agri. de France 71 (6): 577-586.
19. **Foth. H., D. and Ellis B., G.** 1988. Soil fertility. Editorial Jhon Wiley and Sons. USA. 75-79 p.
20. **García E.** (1981). Modificaciones al Sistema de Clasificación Climática de Köpen (para adaptarlo a las condiciones de la república mexicana) UNAM México. D.F. 16-21 p.
21. **Gerhard P.** 1986. Geografía histórica de la nueva España, 1519-1821. Edit. UNAM. México, D.F. 493 p.
22. **Guerrero E. G., Luna J. L., Caballero E.** 1992. Distribución de los tepetates de la República Mexicana. Escala 1:4000,000. En memorias del Primer Simposio Internacional sobre Suelos Volcánicos Endurecidos. México. Revista terra, 10 (Número especial): 311, 312 P.
23. **Janeau L. J., Jerome G. y Miranda M. E.** 1992. Evolución estructural de la superficie de suelos con tepetate. En memorias del Primer Simposio Internacional sobre Suelos Volcánicos Endurecidos. México. Revista Terra, 10 (Número especial): 374-378 p.

24. **GIT (Grupo Interdisciplinario Tepetates)**, 1993. La rehabilitación de los tepetates, una necesidad y una alternativa socioeconómica para el sector agrícola del Estado de México. CP, ORSTOM, Universidad de Gisse y Universidad de Tlaxcala. 2-4 p
  
25. **Guerrero E, Luna J. L.**, 1992. Distribución de los tepetates de la república mexicana escala 1:40 000. En memorias del Primer Simposio Internacional sobre Suelos Volcánicos Endurecidos. México. Revista Terra, 10 (Número especial): 135 p.
  
26. **Hernández M.A.**, 1990. Producción de forraje y semilla de veza común. Tesis de licenciatura de la UACH. 60-66 p.
  
27. **Hernández X.**, 1987. Etnobotanica de Tlaxcala. En memorias del congreso Uso y Manejo de los Tepetates para el Desarrollo Rural. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México 1-8 p.
  
28. **Hidalgo C.** 1992. La Cementación de los Tepetates: Estudio de la silicificación. En memorias del Primer Simposio Internacional sobre Suelos Volcánicos Endurecidos. México. Revista Terra, 10 (Número especial): 192-200 p.
  
29. **Hughes H. D. y Eath E. M.** 1984. Forrajes, la ciencia de la agricultura basada en la producción de pastos. Las vezas, capítulo 19. Editorial Continental S.A. de C.V. México. 233, 234 p.
  
30. **INEGI (Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informatica)**. 1988. Censo Agropecuario y Forestal. Los impactos ecológicos de la producción agropecuaria y forestal, SARH, México. capítulo 2, 107 p.
  
31. **INEGI (Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informatica)**. 1990. Censo Estadístico de Población y Vivienda del Estado de México 58 p.

32. **INIFAP (Instituto Nacional de Investigaciones Forestales y Agrícolas y Pecuarias).** 1993. Características agronómicas de la variedad de cebada "esmeralda". Registro Nacional de Variedades de Plantas. SARH. México. 1-3 p.
33. **Kassmussen P. E. Collins H. P.** 1991. Long term impacts of tillage fertilizer and crops residue on soil organic matter in the semiarid regions. *Agron.* 45: 93-134 p.
34. **Kirkby M. y Morgan C.** 1994. Erosión de suelos. Tercera edición. Editorial limusa. 35-82 p.
35. **Laufer M y Leroux J.** 1996. Organización superficial de los tepetates roturados (Texcoco-México). En memorias del Segundo Simposio Internacional de Suelos Volcánico y Endurecidos de América Latina, Quito, Ecuador.
36. **Ly B.T.** 1993. Etude des systemas de producción de la commune de Santa Catarina del Monte (Mexique) (Dand le Cadre du Programmes de réhabilitation des "tepetates" Sols Volcaniques indurés) En Memorie de 1<sup>ere</sup> annéé Esat. CNEARC. Motpeller France. 70 p.
37. **Martínez A.** 1983. Introducción al Statical Analisis System (SAS). Segunda edición. Colegio de Postgraduados. Montecillos, México. 299 p.
38. **Martínez A.** 1988. Diseños experimentales. Métodos y elementos de teoría. Editorial. trillas. 299 p.
39. **Martínez T., y Romero A.,** 1991 La consolidación del estado en el imperio Texcocano. Segundo Foro de Investigación y Servicio de Oriente del Estado de México. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 263-289 p.
40. **Miehlich G..** 1992. Formación and Properties of Tepetate in de Central Highlands of México origen. En memorias del Primer Simposio Internacional Sobre Suelos Volcánicos Endurecidos. México. Revista Terra, 10 (Número especial): 137 p.



41. **Navarro H. y Prat C.** 1995. *Habilitación agrícola de los tepetates de los valles de México y de Tlaxcala. En : el campo mexicano: una modernización a marchas forzadas.* P. Bovin (Ed.). CEMCA-ORSTOM. Mexico. p 253-291.
42. **Navarro H.** 1992. *Análisis agronómico comparativo en tepetates.* En *memorias del Primer Simposio Internacional sobre Suelos Volcánicos Endurecidos.* México. Revista Terra, 10 (Número especial): 454-459 p.
43. **Navarro H., Sanchez D., Benites D., Báez A., Maquez A.** 1993. *Ensayos agronómicos para la rehabilitación agrícola de los tepetates cafés en el estado de Tlaxcala.* Centro de Desarrollo Rural de Colegio de Postgraduados. Montecillos, México.
44. **Olivares F. y Marques A.** 1992. *Aspectos socioeconómicos y agroecológicos de la recuperación de tepetates en san Pablo Ixayoc, Estado de México.* En *memorias del Primer Simposio Internacional sobre Suelos Volcánicos Endurecidos.* México. Revista Terra, 10 (Número especial): 524-533 p.
45. **Ortíz S., y Cuanalo C.** 1977. *Levantamiento de fisiográfico del área de influencia de Chapingo.* Colegio de Postgraduados. ENA. Chapingo. México, 12, 14 p.
46. **Pacheco M.C.,** 1987. *Cartografía y caracterización mineralógica de los tepetates del oriente del valle de México. Uso y manejo de los tepetates para el desarrollo rural.* UACH, Departamento de Suelos. 34 p.
47. **Peña D., Zebrowski C.** 1992. *Caracterización Física y Mineralógica de los tepetates de la Vertiente Occidental de la Sierra Nevada.* *Memorias del Primer Simposio Internacional sobre Suelos Volcánicos Endurecidos.* México. Revista Terra, 10 (Número especial): 156-163 p.
48. **Peña D. Zebrowski C.** 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. 1-16 p.

49. **Ortíz B., Ortíz C. A.** 1995. Edafología. Universidad Autónoma Chapingo. Departamento de Suelo. Chapingo, México. 138-143 p.
50. **Prat C., Báez A.** 1995 Erosión hídrica de los suelos con tepetates café t3 (Texcoco, México). Resultados de '92 a '94. En memorias del XXVI Congreso Nacional de la Ciencia del suelo. Cd. Victoria, Tamaulipas. México. 142 p.
51. **Prat C., Báez A.** 1996. Erosión y escurrimiento en parcelas de tepetates t3 (Texcoco-México). Memoria del Segundo Simposio Internacional de Suelos Volcánico y endurecidos de América Latina, Quito, Ecuador.
52. **Quantin P.** 1992. L'Induration des Materiaux Volcaniques Pyroclastiques en Amerique Latine: Processus Geologiques et Pedologiques. Primer Simposio Internacional sobre Suelos Volcánicos Endurecidos. México. Revista Terra. vol. 10. (Número especial) 24-32 p.
53. **Quantin P., Arias A., Etchevest J., Ferrera R., Olechko K., Navarro E., Werner G., Zebrowski C.** 1993. Tepetates de México: Caracterización y Habilitación para la Agricultura. Revista Terra, 11: 11-58 p.
54. **Ramírez T.,** 1989. Degradación del suelo inducido por el hombre en el estado de Tlaxcala. Tesis de licenciatura de la UACH. 7-10 p
55. **Rey T. M.,** 1987. Efecto de la aplicación de estiércol de bovino en la propiedades físicas y químicas de un suelo con tepetate removido y su influencia en el rendimiento de trigo. Tesis de licenciatura de la UACH 12-58 p.
56. **Rodríguez J.** 1993. Fertilización de los cultivos, un método racional. Pontificia Universidad Católica de Chile, Santiago, Chile. 45 P.
57. **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 C.P. Montecillos México. 8-21 p.

58. **Secretaria de Agricultura y Recursos Hidráulicos (SARH)**. 1985. Métodos para evaluar la calidad maltera en cebada. Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas. México, D.F. 7 p.
59. **Secretaria de Agricultura y Recursos Hidráulicos (SARH)**, 1990. Censo Agropecuario y Forestal. Los impactos ecológicos de la producción agropecuaria y forestal, SARH. México. 29 p.
60. **Simpson R.** 1986. Abonos y estiércoles. Editorial Acribia, S.A. Zaragoza, España. 92 p.
61. **Soil Survey Staff.** 1975. Soil taxonomy: A basic system of soil classification for making interpreting soils surveys. Ag. Hgk. 436 USDA-SCS. Washington, D.C.
62. **Stiell R. G., Torrie J. H.** 1988. Bioestadística, principios y procedimientos. Segunda edición. Editorial Mc Graw-Hill. México. 228 p.
63. **Valdés M,A.,** 1970. Características morfológicas y mineralógicas de los suelos de tepetate de la cuenca de México. Tesis de maestría, Chapingo México. 15-18 p.
64. **Williams B.** 1992. "Tepeate" in 16th Century and contemporary Folk Terminology Valley of Mexico. En memorias del Primer Simposio Internacional sobre Suelos Volcánicos Endurecidos. México. Revista terra, 10 (Número especial): 483-486 p.
65. **Werner G.,** 1992. Suelos Volcánicos endurecidos (tepetates) En el estado de Tlaxcala: Distribución. Rehabilitación y Conservación. En memorias del Primer Simposio Internacional Sobre Suelos Volcánicos Endurecidos. México. Revista terra, 10 (Número especial): 318-327 p.

66. **Zebrowski C.** 1992 (a). Los suelos volcánicos endurecidos de América latina. En memorias del Primer Simposio Internacional Sobre Suelos Volcánicos Endurecidos. México. Revista Terra, 10 (Número especial): 16 p.
67. **Zebrowski C.** 1992 (b). La cementación de los tepetates: Estudio de la silificación. En memorias del Primer Simposio Internacional sobre Suelos Volcánicos Endurecidos. México. Revista Terra, 10 (Número especial): 193 p.

## 7. APENDICE

Apéndice 1. Calendario de actividades durante 1993.

Actividad	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Sept.	Oct.	Nov.	Dic.
Roturación	6 al 20								
Terraceo	6 al 20								
Nivelación	6 al 20								
Rastra	6 al 20								
Aplicación de estiércol		7 al 9							
Siembra			10						
Rastra				29					
Resiembra				29					
1ª Fertilización				29					
2ª Fertilización					6				
Cosecha de forraje (muestreo)						6 al 7			
Cosecha de grano (muestreo)								5 al 6	
Cosecha total de grano								del 20	al 7

Apéndice 2. Análisis de varianza de las variables de respuesta de los diferentes rangos de diámetros de partícula evaluados en la granulometría.

Profundidad cm	Diámetro de partículas mm	Cuadrado medio	Significancia tratamientos
0-20	>31.7	16.74	0.308ns
	31.7-11.5	11.29	0.015*
	11.5-4.8	1.10	0.029ns
	4.8-2.0	2.51	0.400ns
	<2.0	41.8	0.050*
20-40	>31.7	17.89	0.280ns
	31.7-11.5	83.53	0.028*
	11.5-4.8	2.59	0.24ns
	4.8-2.0	1.67	0.490ns
	<2.0	95.85	0.026*

\*: significativo  $p < 0.05$ , \*\*: altamente significativo  $p < 0.05$ , ns: no significativo.

### Apéndice 3. Análisis de varianza de las variables de respuesta en la evaluación de Forraje.

<i>Variables en cebada</i>	Cuadrado medio	Significancia tratamiento	Media experimental
Días al 50% flor	17.06	0.65ns	59.33
Número de plantas por m <sup>2</sup>	665985	0.94ns	186.61
Número de tallos por m <sup>2</sup>	6931.17	0.62ns	400.77
Amacollamiento	0.23	0.74ns	0.32
Altura de planta (cm)	88.24	0.00**	52.05
Peso de forraje seco (t ha <sup>-1</sup> )	2.40	0.09ns	4.82
<i>Variables en veza</i>			
Peso de forraje seco (t ha <sup>-1</sup> )	0.04	0.23ns	0.28
<i>Variables en cebada-veza</i>			
Peso de forraje seco (t ha <sup>-1</sup> )	2.70	0.09ns	5.11

\*: Diferencia significativa. (P<0.05).

\*\* : Diferencia altamente significativa. (P<0.01).

ns: no significativa (P>0.05).

### Apéndice 4. Análisis de varianza de las variables de respuesta en la evaluación de grano.

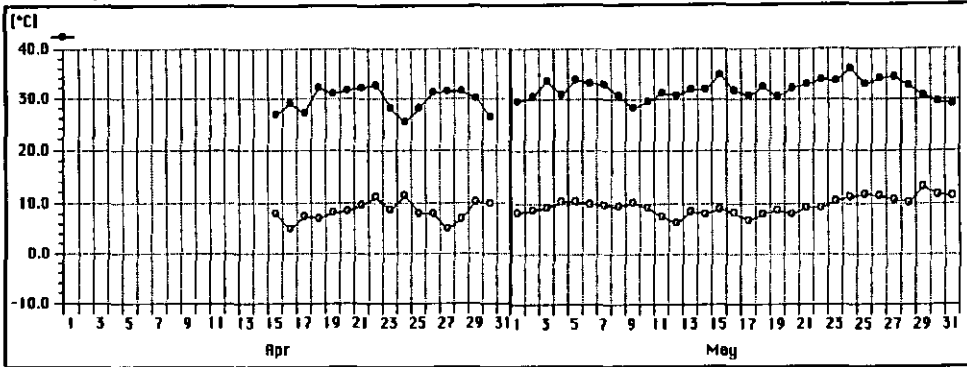
<i>Variables en cebada</i>	Cuadrado medio	Significancia de los tratamientos	Media
Número de plantas m <sup>-2</sup>	4710.1	0.50ns	168
Número de tallos m <sup>-2</sup>	5639.8	0.60ns	357
Amacollamiento	0.611	0.60ns	2.4
Emisión de espigas	0.106	0.02*	5.23
Peso 100 granos (g)	0.15	0.01*	3.62
No. de granos por m <sup>2</sup>	4651537.7	0.07ns	6462
Rendimiento de grano (t ha <sup>-1</sup> )	1.04	0.02ns	2.46
Biomasa aérea (t ha <sup>-1</sup> )	3.16	0.06ns	5.12
Índice de cosecha	0.0536	0.06ns	3.94
Índice de eficiencia mocult.-asoc.	0.823	0.00**	1.67
<i>Variables en veza</i>			
Rendimiento de grano (t ha <sup>-1</sup> )	1.40	0.00**	0.45
Biomasa (t ha <sup>-1</sup> )	1.38	0.00**	0.84
<i>Variables en cebada-veza</i>			
Biomasa aérea (t ha <sup>-1</sup> )	7.43	0.00**	6.00

\*: Diferencia significativa. (P<0.05).

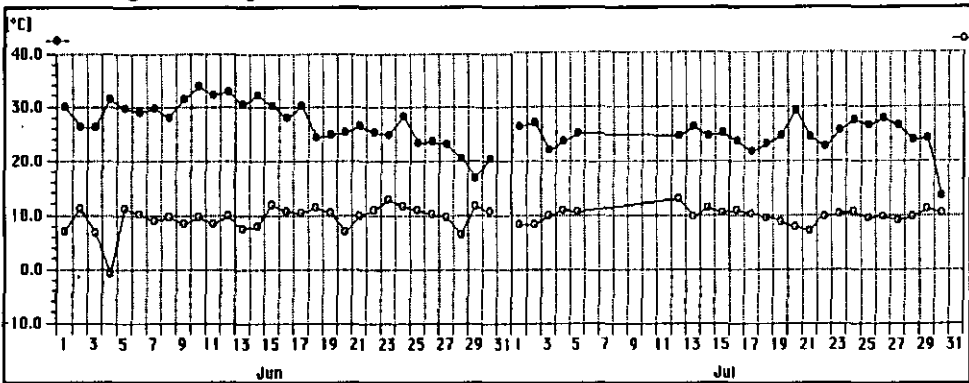
\*\* : Diferencia altamente significativa. (P<0.01).

ns: Diferencia no significativa (P>0.05).

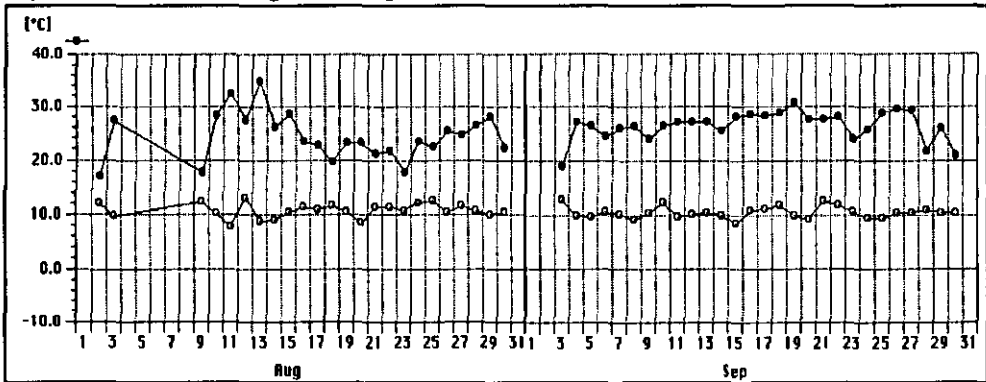
Apéndice 5. Temperaturas máximas y mínimas durante los meses de abril y mayo en San Miguel Tlaixpan, Texcoco.



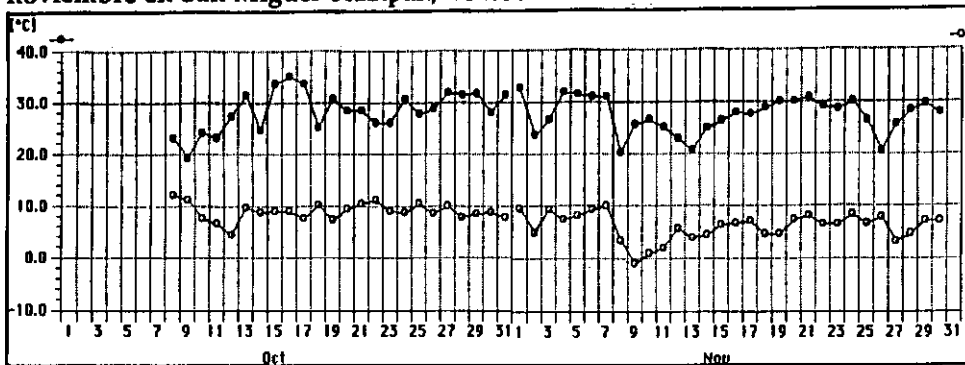
Apéndice 6. Temperaturas máximas y mínimas durante los meses de junio y julio en San Miguel Tlaixpan, Texcoco.



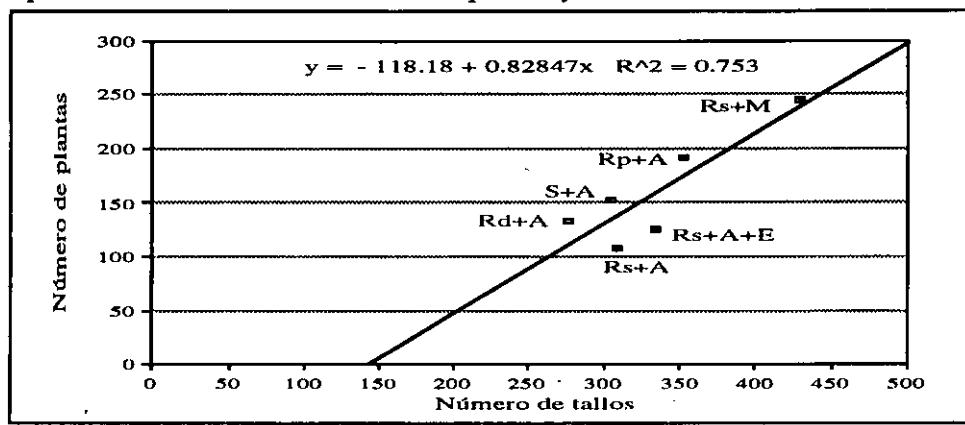
Apéndice 7. Temperaturas máximas y mínimas durante los meses de agosto y septiembre en San Miguel Tlaixpan, Texcoco.



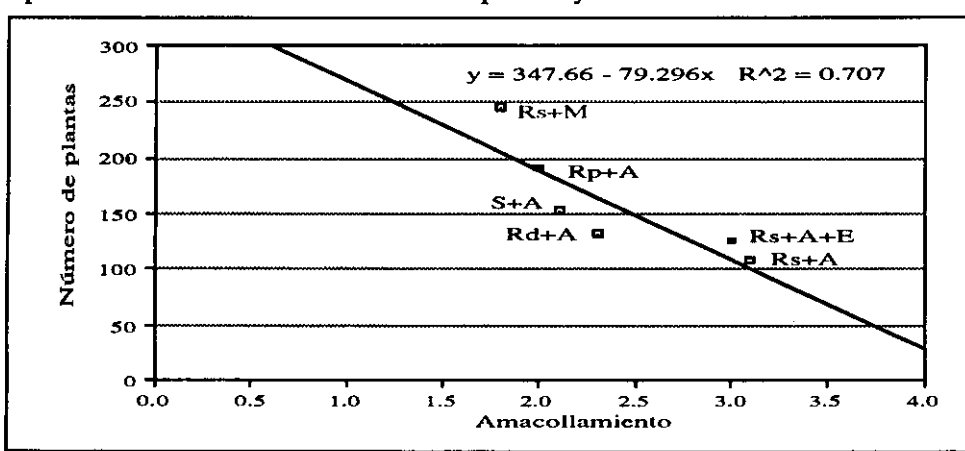
**Apéndice 8** Temperaturas máximas y mínimas durante los meses de octubre y noviembre en San Miguel Tlaixpan, Texcoco.



**Apéndice 9.** Relación entre número de plantas y número de tallos en cebada.



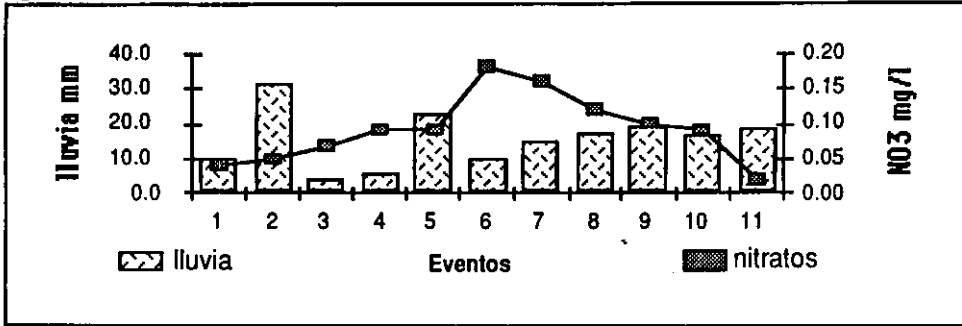
**Apéndice 10.** Relación entre número de plantas y amacollamiento en cebada.



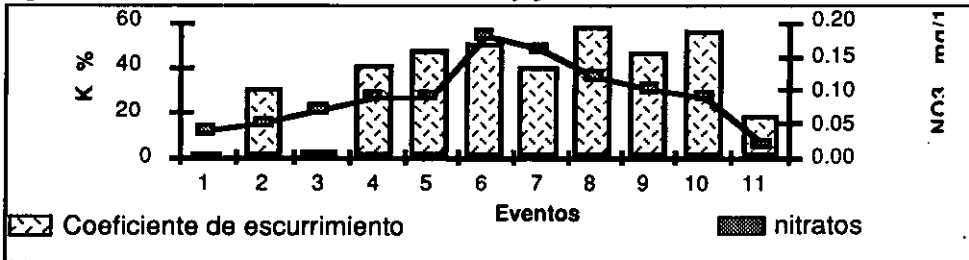
**ESTA TESIS NO DEBE SALIR DE LA BIBLIOTECA**



Apéndice 11. Volumen de lluvia y pérdida de nitratos.



Apéndice 12. Coeficiente de escurrimiento y pérdida de nitratos.



Apéndice 13. Índice de eficiencia entre monocultivo y asociación.

Tratamiento	Rendimiento		Monocultivo		Eficiencia		IE
	Cebada	veza	Cebada	veza.	Cebada	veza	
$t\ ha^{-1}$							
Rp+A	1.6	0.1	2.0	0.5	0.8	0.3	1.1
Rs+M	2.0	†	2.0	†	1.0	†	1.0
Rs+A+E	2.6	0.3	2.0	0.5	1.4	0.6	2.0
Rd+A	2.2	0.7	2.0	1.0	1.2	0.7	1.9
Rs+A	3.1	0.9	2.0	1.2	1.6	0.7	2.3
S+A	2.5	0.2	2.0	0.5	1.3	0.4	1.7

†: no se encuentra por ser monocultivo, IE: Índice de eficiencia.