



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA
DE MEXICO



FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
CUAUTITLAN

ALTERNATIVAS AGRONOMICAS PARA LA
INCORPORACION DE TEPETATES A LA
PRODUCCION AGRICOLA: UN DISEÑO
EXPERIMENTAL EN CONDICIONES DE MANEJO
CAMPEÑO, EN SANTIAGO TLALPAN
MUNICIPIO DE HUEYOTLIPAN, TLAXCALA.

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
INGENIERO AGRICOLA
P R E S E N T A :
ALFONSO MARQUEZ RAMOS

DIRECTOR DE TESIS: DR. VICTOR HUGO VOLKE HALLER.

CUAUTITLAN IZCALLI, EDO. DE MEXICO.

1998

258753

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN



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 está protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

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



UNIVERSIDAD NACIONAL
AVENIDA DE
MEXICO

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

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



DEPARTAMENTO DE
EXAMENES PROFESIONALES

ASUNTO: VOTOS APROBATORIOS

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

AT'N: Ing. Rafael Rodríguez Ceballos
Jefe del Departamento de Exámenes
Profesionales de la F.E.S. -

Con base en el art. 28 del Reglamento General de Exámenes, permitimos comunicar a usted que revisamos la TESIS:

"Alternativas agronómicas para la Incorporación de Tepetates a la

Producción Agrícola: Un Diseño Experimental en Condiciones de Manejo

Campeño, en Santiago Tlalpan, Municipio de Hueyotlipan, Tlaxcala".

que presenta el pasante: Alfonso Márquez Ramos

con número de cuenta: 8037336-0 para obtener el TITULO de:

Ingeniero Agrícola

Considerando que dicha tesis reúne los requisitos necesarios ser discutida 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 7 de Noviembre de 1

PRESIDENTE

Dr. Edvino Josafat Vega Rojas

VOCAL

M.C. M.M. Ofelia Grajales Muñiz

SECRETARIO

M.C. Otilio Arturo Acevedo Sondoval

PRIMER SUPLENTE

Ing. Andres Marbán Bahena

SEGUNDO SUPLENTE

Ing. Raúl Espinoza Sánchez

DEDICATORIAS

**A MIS PAPAS:
DOÑA AMPARITO Y DON ALFONSO.
Por su esfuerzo y amor.**

**A MIS HERMANOS Y HERMANAS:
RUBEN
AMPARITO
LUIS
JORGE
FELIPIN
TERE
CAME
CATA
LUPE (qepd)
GÜERA
Por que de cada uno también he
aprendido.**

**A LOS SOBRINOS Y SOBRINAS,
A LA FAMILIA TODA:
Por que sigamos adelante.**

**A LOS COMPAÑEROS Y COMPAÑERAS
DE LUCHA:
Por sus enseñanzas que jámas se
olvidaran.**

**A LOS COMPAÑEROS Y COMPAÑERAS
DE CAMINO:
Por todo.**

**A NUESTRO PUEBLO MEXICANO.
A LOS QUE EN CUALQUIER PARTE
LUCHAN POR UN MUNDO NUESTRO,
MEJOR, PERO COMO ANTAÑO.
Por que en nuestro andar, no estamos
sólos.**

AGRADECIMIENTOS.

Este pequeño trabajo, como el Proyecto en su totalidad, fueron producto de esfuerzos colectivos. Haber hecho lo aquí plasmado requirió de la integración de esfuerzos, de voluntades.

Desde el inicio de mi "vida profesional" tuve la gran oportunidad de contar con personas que es gente, que es humano. No dudo que como ellos haya muchos en estos caminos.

Recien egresado llegue a Texcoco, invitado por el compañero **Gabriel Cerda Salazar** (qedp). Las primeras estancias en este hermoso municipio, fueron en casa de la familia de **Gabriel**, a la que le estot agradecido. Luego en la comunidad de San Pablo Ixayoc, una de las familias campesinas con las que trabaje tuvo a bien brindarme alojamiento y cariño; y aunque hubo momentos difíciles para todos, su actitud solidaria ahí estaba (y me supongo que sigue estando); gran familia la de los señores **Maria e Inocencio Sánchez Vivar**.

Posteriormente, nos trasladamos a Hueyotlipan, Tlaxcala, a la comunidad de Santiago Tlalpan. Y, como digo, también encontramos actitudes de apoyo de parte de la familia de los señores **Virginia Cuellar** (qedp) y **Jorge Bautista**. La hospitalidad, la solidaridad y cariño que de ellos tuvimos es hoy y siempre bien recordados. Y que decir de todos los compañeros y compañeras que de alguna o de otra manera han colaborado en este proyecto de investigación. Agradecido estoy con todos ellos; en particular a los que colaboraron en 1991 (primer año de cultivo en el tepetate recien roturado), alla, en la comunidad de Santiago Tlalpan, Hueyotlipan, Tlaxcala. Gracias a **Cecilio, Susana, Ricardo, Mari, Migue, Elsa, Olimpia**, y a todos los demás que también asistieron.

Parte del equipo de trabajo fueron los profesores **Hermilio y Felipe**; con ellos comence a hacer mis primeros pininos. Gracias por lo que les aprendi, sobre todo en el trabajo de campo.

En el Colegio de Postgraduados también recibimos muestras de apoyo. Gracias por las buenas actitudes (y por las no muy buenas) de los profesores **Jorge D., Victor H., Lulú, Rosita, Claudia, Armando, Juliana**. Gracias también a los trabajadores **Gerardo, Toño, Nacho, Domingo, Gonzalo (Laboratorio de fertilidad), Pedro, Rubén, Pedro, Cleto, Elias, Hermilo, Juan (Campo)**; y a las secretarias **Salus y Maru**; y bueno, a todos y todas los que de una o de otra forma intervinieron en el proyecto.

Y, claro, no podía dejar de agradecer también a los profesores franceses **Claude, Paul y Christian**; a los y las estudiantes **Isabell, Pascal, Geraldine, Lolita, Isabell, Bonti, Garance, Mark, Jan**. Gracias por sus comentarios, por su agradable convivencia.

Quiero también dejar gratitud al **Instituto Francés de Investigación Científica para el Desarrollo en Cooperación (ORSTOM)** y al **Colegio de Postgraduados en Ciencias Agrícolas (CP)** por la oportunidad brindada.

A las cominidades de **San Pablo Ixayoc, Texcoco; y Santiago Tlalpan, Hueyotlipan**; gracias por su cooperación e interes en los diferentes trabajos.

A los profesores integrantes del jurado, gracias por sus observaciones y comentarios.

A mis asesores gracias por su experiencia.

PENSAMIENTO.

...Pensaron cómo harían brotar la luz, la cual recibiría alimento de eternidad. La luz se hizo entonces en el seno de lo increado. Contemplaron así la naturaleza original de la vida que esta en la entraña de lo desconocido. Los dioses propicios vieron luego la existencia de los seres que iban a nacer; y ante esta certeza, dijeron:

- Es bueno que se vacie la tierra y se aparten las aguas de los lugares bajos a fin de que estos puedan ser labrados. En ellos la siembra será fecunda por el rocío del aire y por la humedad subterránea. Los árboles crecerán, se cubrirán de flores y darán fruto y esparcirán su semilla. De los frutos cosechados comerán los pobladores que han de venir. Tendrán de este modo igual naturaleza que su comida. Morirán el día que lleguen a tenerla distinta...

POPOL VUH.

CONTENIDO

	Pag
LISTA DE CUADROS.....	I
LISTA DE FIGURAS.....	II
LISTA DE GRAFICAS.....	III
LISTA DE DIAGRAMAS DE FLUJO.....	IV
LISTA DE ANEXOS.....	V
DEDICATORIAS.....	
AGRADECIMIENTOS.....	
PENSAMIENTO.....	
RESUMEN.....	VI
CAPITULO 1. INTRODUCCION.	
CAPITULO 2. OBJETIVOS E HIPOTESIS	
2.1. OBJETIVO GENERAL.....	3
2.2. OBJETIVOS PARTICULARES.....	3
2.3. HIPOTESIS.....	3
CAPITULO 3. REVISION DE LITERATURA.	
3.1. LA EROSION.FACTORES, TIPOS Y PROBLEMATICA.....	4
3.1.1. Factores y tipos.....	4
3.1.1.1. Erosión hídrica.....	4
3.1.1.2. Erosión eólica.....	5
3.1.2. La erosión en México.....	5
3.1.3. La erosión en Tlaxcala.....	5
3.1.4. La erosión en el municipio de Hueyotlipan.....	8
3.2. EL SUSTRATO TEPETATE: DEFINICION, EXTENSION, CARACTERIZACION Y MANEJO.....	10
3.2.1. Definición y nomenclatura.....	10
3.2.2. Localización geográfica y extensión.....	10
3.2.3. Origen.....	13
3.2.4. Dureza.....	15
3.2.5. Mineralogía.....	16
3.2.6. Caracterización fisico-química.....	18
3.2.7. Clasificación.....	19
3.2.8. Biología.....	21

3.2.9.	Usos.....	22
3.2.10.	Experiencias sobre producción y manejo.....	23
3.2.10.1.	Roturación.....	23
3.2.10.2.	Fertilidad.....	26
3.2.10.3.	Disponibilidad del agua.....	27
3.2.10.4.	Manejo.....	27
3.2.11.	Experiencias de investigación en los tepetates.....	27
3.3.	LAS ESPECIES UTILIZADAS EN EL EXPERIMENTO: IMPORTANCIA, REQUERIMIENTOS CLIMATICOS, CARACTERISTICAS AGRONOMICAS Y FENOLOGIA.....	35
3.3.1	Importancia.....	35
3.3.1.1.	Trigo (<i>Triticum aestivum</i>).....	35
3.3.1.2.	Maíz (<i>Zea mays</i>).....	36
3.3.1.3.	Frijol (<i>Phaseolus vulgaris</i>).....	37
3.3.1.4.	Haba (<i>Vicia fava</i>).....	37
3.3.1.5.	Veza (<i>Vicia villosa</i>).....	38
3.3.2.	Requerimientos climáticos.....	38
3.3.2.1.	Trigo.....	38
3.3.2.2.	Maíz.....	39
3.3.2.3.	Frijol.....	40
3.3.2.4.	Haba.....	40
3.3.2.5.	Veza.....	40
3.3.3.	Características agronómicas.....	41
3.3.3.1.	Trigo.....	41
3.3.3.2.	Maíz.....	42
3.3.3.3.	Frijol.....	42
3.3.3.4.	Haba.....	43
3.3.3.5.	Veza.....	44
3.3.4.	Fenología.....	44
3.3.4.1.	Trigo.....	44
3.3.4.2.	Maíz.....	44
3.3.4.3.	Frijol.....	46
3.3.4.4.	Haba.....	46
3.3.4.5.	Veza.....	47
3.4.	LOS SISTEMAS DE CULTIVO: CONCEPTO, IMPORTANCIA, EXTENSION, EFICIENCIA E INVESTIGACION.....	47
3.4.1.	Concepto.....	47
3.4.1.1.	Eje espacio.....	47
3.4.1.2.	Eje tiempo.....	47
3.4.2.	Ventajas y desventajas.....	48
3.4.3.	Ubicación nacional.....	49
3.4.4.	Investigación y Evaluación.....	49
3.4.5.	Eficiencia.....	50
3.5.	LA FERTILIZACION: IMPORTANCIA Y TIPOS.....	51
3.5.1.	Importancia.....	51
3.5.2.	Fertilización química.....	51
3.5.3.	Fertilización orgánica.....	51

CAPITULO 4. ANTECEDENTES DE LA PRESENTE TESIS.

4.1. RESULTADOS. SAN PABLO IXAYOC, TEXCOCO, 1989.....	54
4.1.1. Seguimiento agronómico.....	55
4.2. RESULTADOS. SAN PABLO IXAYOC, TEXCOCO, 1990.....	55
4.2.1. Aspecto histórico.....	55
4.2.2. Aspecto socioeconómico.....	56
4.2.3. Roturación de los tepetates.....	57
4.2.4. Seguimiento agronómico.....	58

CAPITULO 5. MATERIALES Y METODOS.

5.1. CARACTERIZACION DEL ENTORNO GEOGRAFICO.....	60
5.1.1. Geología y geomorfología estatal y regional.....	60
5.1.2. Suelo y clima de la región.....	61
5.1.3. Localización geográfica del area experimental.....	61
5.2. CARACTERISTICAS DEL TEPETATE EXPERIMENTAL.....	62
5.2.1. Tipo de tepetate.....	62
5.2.2. Características fisico-químicas.....	62
5.3. CARACTERISTICAS DEL EXPERIMENTO.....	62
5.3.1. Sistemas de Cultivo propuestos.....	62
5.3.2. Tratamientos considerados.....	63
5.3.3. Diseño Estadístico utilizado.....	63
5.3.4. Trabajos en campo.....	64
5.3.5. Trabajos en laboratorio.....	65
5.3.6. Trabajos en gabinete.....	65

CAPITULO 6. RESULTADOS Y DISCUSION.

6.1. ROTURACION Y GRANULOMETRIA DEL TEPETATE.....	66
6.2. CALENDARIO DE ACTIVIDADES AGRICOLAS.....	67
6.3. EVENTOS CLIMATICOS.....	67
6.3.1. Precipitaciones pluviales.....	67
6.3.2. Disponibilidad hídrica en el tepetate.....	68
6.3.3. Temperaturas promedio.....	69
6.3.4. Temperaturas máximas.....	70
6.3.5. Temperaturas mínimas.....	71
6.3.6. Comportamiento climático-Sistemas de cultivo.....	71
6.3.7. Comportamiento climático-humedad en el Tepetate.....	71
6.4. APTITUDES PRODUCTIVAS DE LOS SISTEMAS DE CULTIVO.....	72
6.4.1. Análisis comparativo.....	72
6.4.1.1. Trigo unicultivo.....	72
6.4.1.2. Veza unicultivo.....	73
6.4.1.3. Asociación Maíz-Frijol-Haba. Maíz asociado.....	75
6.4.1.4. Frijol asociado.....	75
6.4.1.5. Haba asociada.....	75
6.4.2. Análisis estadístico.....	77
6.4.2.1. Trigo en unicultivo.....	77
6.4.2.2. Asociación Maíz-Frijol-Haba. Maíz asociado.....	85
6.4.2.3. Frijol asociado.....	85
6.4.2.4. Haba asociada.....	86

6.4.2.5. Asociación Maíz-Frijol-Haba.....	86
6.4.2.6. Veza unicultivo.....	87

CAPITULO 7. CONCLUSIONES.

7.1. DEL CLIMA.....	88
7.2. DE LA ROTURACION.....	88
7.3. DEL ANALISIS COMPARATIVO.....	88
7.4 DEL ANALISIS ESTADISTICO.....	88
7.4.1. En trigo.....	88
7.4.2. En la asociación maíz-frijol-haba.....	89
7.4.3. En la veza unicultivo.....	89
7.5. DE LA INTERACCION CON EL PRODUCTOR.....	89

CAPITULO 8. ANEXOS.

ANEXO 1.....	90
Sobre la búsqueda del modelo estadístico que nos explique mejor el comportamiento de las especies en función de los tratamientos.	

CAPITULO 9. BIBLIOGRAFIA.....101

LISTA DE CUADROS

Cuadro 1. Diversas cuantificaciones de la erosión en México.....	6
Cuadro 2. Alternativas propuestas para el problema de la erosión en el Estado de Tlaxcala.....	9
Cuadro 3. Nomenclatura de Endurecimiento.....	12
Cuadro 4. Nomenclaturas usadas para costras carbonato-cementadas.....	12
Cuadro 5. Rendimientos y componentes en maíz de un tepetate de segundo año....	32
Cuadro 6. Agroproductividad de maíz asociado con haba, bajo diferente manejo agronómico. Hueyotlipan, Tlaxcala, 1995.....	33
Cuadro 7. Producción de grano total de la asociación maíz-haba, bajo diferente manejo agronómico. Hueyotlipan, Tlaxcala, 1995.....	34
Cuadro 8. Rendimientos comparativos por terraza. S. Miguel Tlaixpan, Texcoco.	34
Cuadro 9. Comportamiento del trigo en tres localidades.....	42
Cuadro 10a. Características fisico-químicas del tepetate experimental.....	62
Cuadro 10b. Características fisico-químicas del tepetate experimental.....	62
Cuadro 11. Análisis químico del estiércol utilizado. S. Tlalpan, Hueyotlipan, Tlaxcala. 1991.....	63
Cuadro 12. Calendario de actividades agrícolas realizadas.....	67
Cuadro 13. Resultados del análisis estadístico en trigo.....	79
Cuadro 14. Análisis de correlación entre el rendimiento y nueve de sus componentes.....	84
Cuadro 15. Comparación de los residuales obtenidos en el modelo estadístico, con el método el método de Papadopolus.....	91
Cuadro 16. Programa completo (factores, variables y covariables) para análisis estadístico; y evolución de los modelos utilizados para la corrida estadística en trigo.....	96

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Localización del Eje Neovolcánico y de la zona de estudio.....	60
Figura 2. Fisiografía de los valles de México y de Tlaxcala (Según Peña y Zebrowski, 1992).....	61
Figura 3. Distribución de los tratamientos en la parcela experimental.....	64
Figura 4. Distribución de los residuales en trigo unicultivo.....	91
Figura 5. Nuevo ordenamiento de las unidades experimentales de acuerdo a los residuales obtenidos.....	92
Figura 6. Bloques formados a partir de las mediciones de profundidad de capa arable.....	93
Figura 7. Bloques formados a partir del tamaño de agregado (D50).....	93
Figura 8. Localización de los tamaños de agregado, según observación del 17 de mayo de 1991.....	93
Figura 9. Localización de los tamaños de agregado, según observación hecha el 2 de junio de 1991.....	93

LISTA DE GRAFICAS

Gráfica 1. Rendimientos según sustrato y grupo doméstico. San Pablo Ixayoc, 1989.....	55
Gráfica 2. Comportamiento demográfico del área de Texcoco durante la Colonia (1522-1802).....	56
Gráfica 3. Cambio en el patrón de actividades económicas de los grupos domésticos.....	57
Gráfica 4. Tipo de familia-roturación-manejo inicial del tepetate.....	58
Gráfica 5. Rendimientos por parcela/productor. S. Pablo Ixayoc, 1990.....	59
Gráfica 6. Distribución de los diámetros de agregado, según tipo de tepetate.....	66
Gráfica 7. Comportamiento diario y mensual de las lluvias.....	68
Gráfica 8. % de humedad volumétrica en el ciclo agrícola '91.....	69
Gráfica 9. Temperaturas promedio diarias y mensuales.....	70
Gráfica 10. Oscilaciones y promedios mensuales de las temperaturas máximas.....	70
Gráfica 11. Oscilaciones y promedios mensuales de las temperaturas mínimas.....	71
Gráfica 12. Influencia de los tratamientos en los rendimientos estimados de trigo.....	73
Gráfica 13. Efecto de los tratamientos sobre los rendimientos estimados de veza.....	74
Gráfica 14. Influencia de los tratamientos en los rendimientos estimados de maíz.....	74
Gráfica 15. Influencia de los tratamientos en el rendimiento de frijol.....	75
Gráfica 16. Influencia de los tratamientos sobre el rendimiento de haba.....	76
Gráfica 17. Relación entre el rendimiento económico y la biomasa aérea.....	80
Gráfica 18. Relación del rendimiento con el I. de C.....	80
Gráfica 19. Relación rendimiento-Plantas/m ²	81
Gráfica 20. Relación entre rendimiento y espigas/m ²	81
Gráfica 21. Relación entre rendimiento y las espigas/planta.....	82
Gráfica 22. Relación rendimiento con altura de planta.....	82
Gráfica 23 Relación rendimiento y peso de 100 granos.....	83
Gráfica 24. Relación rendimiento con granos/espiga.....	83

LISTA DE DIAGRAMAS DE FLUJO.

Diagrama de flujo 1. Erosión: tipos y extensión.....	4
Diagrama de flujo 2. Los tepetates: Caracterización, extensión y manejo.....	11
Diagrama de flujo 3. Evolución del Proyecto Tepetates.....	53

LISTA DE ANEXOS

Anexo 1. Sobre la búsqueda del modelo estadístico que nos explique mejor el comportamiento de las especies en función de los tratamientos.....90

RESUMEN.

Los diferentes tipos de erosión presentan matices a lo largo y ancho del territorio nacional.

Los tepetates, sustratos de escasa fertilidad, afloran luego de la pérdida de la capa arable que sobre este se tenía. En el estado de Tlaxcala por lo abrupto de su orografía y el uso de los recursos, están dadas las condiciones para que el tepetate aflore en más de la mitad de su área territorial.

Los campesinos de la región, y de otras donde se cultiva en los tepetates, obtienen rendimientos diferentes debido al tipo de manejo a que los someten. Los rendimientos en el primer año de cultivo, utilizando maíz o cebada, son de sólo unos cuantos cientos de kilogramos de granos por hectárea pero la producción tiende a incrementar después de 5 a 7 años de cultivo, hasta alcanzar hasta 2 toneladas por hectárea.

Consideramos al tepetate como un sustrato con potencialidades agrícolas; por lo tanto, nos proponemos obtener buenos rendimientos en grano y paja en el primer año, así como explorar el potencial de diferentes sistemas de cultivo para incorporar el tepetate a la producción agrícola en un lapso de 3-4 años.

Para llevar a cabo el trabajo experimental del cual surgió la presente Tesis, previamente se realizó el Diagnóstico Productivo, así como el estudio socioeconómico e histórico de los tepetates, en el ejido de San Pablo Ixayoc, municipio de Texcoco, México, de 1989 a 1990. En 1990 se realizó otro estudio similar en la cabecera municipal de Hueyotlipan, Tlaxcala (trabajo a cargo de la estudiante francesa Isabel Gasnier).

En San Pablo Ixayoc se trabajó coordinadamente con ocho familias campesinas en 1989 y con nueve en 1990. Se realizó análisis agronómico comparativo de parcelas establecidas en tepetate y en suelo no endurecido. A nivel familiar se levantaron encuestas diferentes: socioeconómica, histórica, así como de la estructura y estrategias familiares. Los resultados indican una fuerte diferenciación social entre las familias; lo que se refleja en todas las actividades productivas; la idea de una familia extensa que no pierde los lazos de origen, permite mayor eficiencia en la actividad agrícola. A nivel más amplio, la estrategia de las familias campesinas se adecua a los tiempos; aun con crisis y todo lo demás las comunidades no quieren perder su identidad, luchan por la permanencia y reproducción de la cultura agrícola.

Con el antecedente de San Pablo Ixayoc, pasamos al trabajo experimental en 1991. Se estableció una parcela experimental en un tepetate recién roturado, en Santiago Tlalpan, municipio de Hueyotlipan, Tlaxcala. Este tepetate pertenece a la serie estratigráfica de tobas denominada t-3 (Zebrowski y Peña, 1992); es de color pardo, relativamente duro, pobre en fertilidad. Se empleó un diseño de parcelas divididas con distribución en bloques al azar. Los tratamientos fueron: aplicación de estiércol (0 y 40 ton/ha) y fertilizante mineral (0-60-0, 60-60-0 y 120-60-0 kg/ha de N, P₂O₅ y K₂O, respectivamente). Estos se probaron en tres sistemas de cultivo (asociación maíz-frijol-haba, unicultivos de trigo y de veza). Las especies leguminosas de la asociación fueron inoculadas; como

comparación se integró un tratamiento sin inocular. La parcela experimental fue de 4*4m. Cada tratamiento se repitió tres veces.

Los resultados indican una fuerte influencia de la proporción de partículas finas y de la profundidad de la capa arable, situación generada por el tipo de roturación realizado en tres bloques. La aplicación de la materia orgánica (estiércol) produjo los mayores rendimientos. La fertilización intermedia (60-60-0) se perfila como la más adecuada en la mayoría de las especies, con excepción del haba asociada; y el cultivo de mejor comportamiento productivo fue el trigo.

CAPITULO 1. INTRODUCCION

La actividad agrícola, como todas las otras actividades económicas nacionales esta siendo tratada bajo la óptica neoliberal: Desaparecen áreas gubernamentales que mantenian un estrecho vínculo con los productores agrícolas, como lo fue la Dirección de Extensión Agrícola; se crean los "bufetes técnicos". Se instrumentan cambios radicales en diferentes artículos constitucionales con la finalidad de hacer vendible al ejido ofreciendo mejor situación jurídica para los inversionistas y grandes productores (nacionales y extranjeros). Bajo la pantalla de disminuir el paternalismo gubernamental, se deja que el productor pague una parte de los diferentes servicios técnico agrícolas; se dejan de instrumentar Programas Regionales de impacto directo a las comunidades, como lo es la roturación y terraceo de zonas tepetatasas.

A la educación e investigación agrícola se les restringe presupuesto, ocasionando cada vez mayores problemas para que las diferentes instituciones logren cumplir con los objetivos por los que fueron creadas. Y si a lo anterior sumamos la falta de voluntad gubernamental por hacer de las instituciones de educación agrícola centros de investigación abocados a resolver problemáticas objetivas de regiones y/o de comunidades agrícolas, pues la situación es todavía más difícil para el medio rural mexicano.

Como respuesta a esta crisis socio-económica, la población trabajadora del campo ha creado estrategias de sobrevivencia y reproducción.

Las estrategias de familias campesinas (en la parte media y alta de la subcuenca del río Texcoco, Estado de México, o de varias comunidades del municipio de Hueyotlipan, Tlaxcala), se han reflejado en el fortalecimiento de la diversificación de sus actividades agropecuarias; además, la actividad de la parcela y/o de la crianza de animales es complementada con el trabajo asalariado; se fortalece la familia extensiva; de esta manera se esta asegurando la permanencia y reproducción de la unidad familiar. Otra parte de la estrategia campesina se refleja en el número de integrantes: la tendencia es procrear el mayor número de hijos, sobre todo varones y, siguiendo esta lógica, tratar de abarcar más áreas productivas, en particular, mayor extensión de tierra cultivable. Por la diversificación productiva y el mayor número de integrantes, la familia campesina se obliga a cultivar donde se había dejado de sembrar, o abrir áreas donde antes no se sembraba.

Por otro lado, la sobreexplotación y el uso inadecuado de los recursos, esta propiciando que las áreas agrícolas fértiles sean cada vez menos.

La erosión de los suelos, que entre una de sus consecuencias da lugar a la aparición del tepetate, consiste principalmente en el arrastre de las partículas sólidas de tierra (Blanco, 1972).

Hay lugares en nuestro país en donde la devastación de la capa vegetal es tan grande que producen paisajes de soledad. De los próximadamente 2 millones de km² se observan las huellas de la erosión

en mayor o menor medida, en 1 646 000 km² (más del 80%); en cerca del 1 % -5 250 km², la degradación del suelo es tan severa que la vida orgánica es prácticamente imposible (Andrade, 1975).

En su origen el proceso erosivo es natural y lento, pero la acción del hombre en sociedad lo ha modificado; Crook (1956), citado por Delgadillo, *et al* (1989), relacionó la alta densidad de población con el fenómeno de la erosión.

En el centro del país y en particular en los estados ubicados en el eje neovolcánico ha existido y existe una elevada concentración poblacional que ejerce una fuerte presión demográfica sobre la tierra (Bataillon, 1981). La presión demográfica aunada a la actitud irracional del uso de los recursos, entre otros aspectos, han acentuado la erosión. Es en esta gran región central en la que los tepetates provienen en su mayoría de productos volcánicos piroclásticos (Dubroeuq, *et al*. 1989). La planimetría de estas formaciones indica que cubren una superficie de 30 700 km², o sea, el 27% de la superficie del Eje Neovolcánico; localizándose principalmente entre los 1800 y 2900 msnmm y en zonas relativamente secas (pp < 1000 mm) (Zebrowski, 1991).

Una acuciosa investigación realizada por Werner hace 16 años, determinó que el 21% del total de la superficie del estado de Tlaxcala era de tipo tepetatoso; en el lapso posterior al estudio se ha incrementado este porcentaje ("La Jornada de Oriente", 1994).

El tepetate es considerado como un sustrato con muy baja fertilidad (las bases intercambiables son en cantidad suficiente) y extremadamente duro. Para abrir un tepetate es necesaria la roturación; para generar en él mejores condiciones de fertilidad es necesario el uso de especies que han demostrado buenos resultados, bajo una adecuada rotación; complementadas con diferentes abonos naturales.

La política neoliberal, entre otras repercusiones, profundiza la dependencia alimentaria de nuestro país. Por ello es necesario proponer estudios que permitan la apertura de estas áreas de tepetate, potencialmente agrícolas, para subsanar deficiencias, así como el manejo apropiado para los suelos tepetatosos actualmente en uso (Valdivia, 1989).

Como parte de la línea de investigación que estudia las condiciones de trabajo campesino, consideramos necesaria la experimentación que, tomando en cuenta las limitantes del tepetate y el conjunto de la cultura agrícola de los campesinos, busque proponer sistemas de cultivo y manejo que permitan a los productores hacer productivo un tepetate, en forma permanente y eficiente.

CAPITULO 2. OBJETIVOS E HIPOTESIS.

2.1. OBJETIVO GENERAL.

Generar recomendaciones agronómicas que permitan al campesino hacer productivas áreas de tepetate en un período de 3 a 5 años.

2.2. OBJETIVOS PARTICULARES.

1. Considerar los principales factores que limitan la productividad agrícola de un tepetate, en el establecimiento del diseño experimental bajo condiciones campesinas.

2. Roturar un área de tepetate para poder establecer diferentes sistemas de cultivo, e iniciar el proceso de incorporación a la producción agrícola.

3. Determinar la mejor fórmula de fertilización mineral en un tepetate recién roturado.

4. Comprobar la importancia de la aplicación de estiércol en los rendimientos de sistemas de cultivo de un tepetate de reciente roturación.

5. Proponer sistemas de cultivo alternativos en base al análisis comparativo entre diferentes especies.

6. Analizar las diferentes aptitudes de rendimiento, así como algunos de los componentes de rendimiento de cada especie propuesta.

2.3. HIPOTESIS.

- Si se rompen los enlaces que cementan o endurecen a los tepetates, estos sustratos tienen buenas posibilidades para poder emplearse en actividades agrícolas.

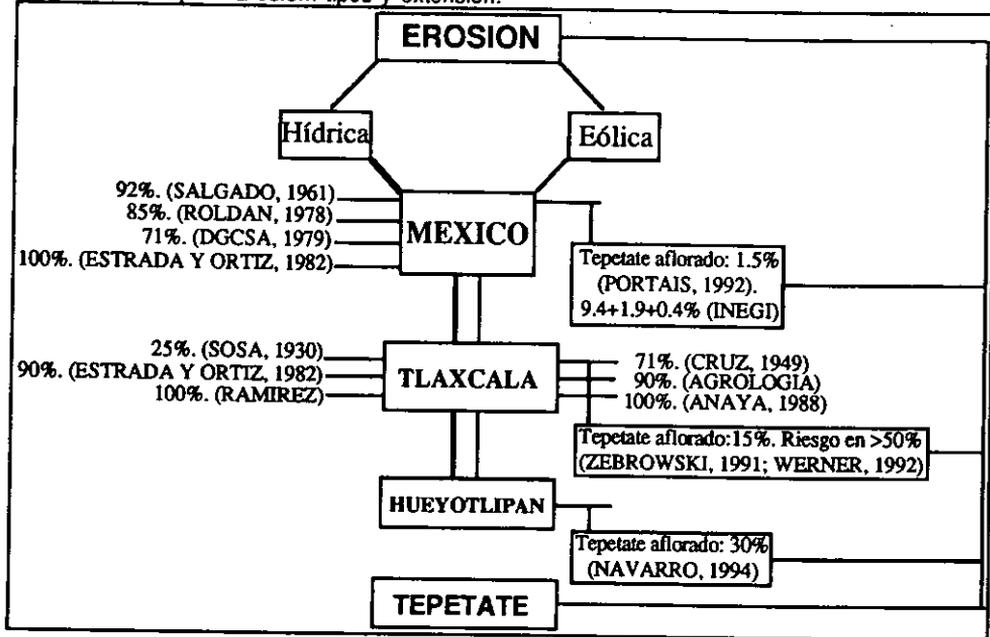
- La roturación debe acompañarse de un buen terraceo y nivelación del área, así como a la formación de bordos-dren. De esta manera se evitara el arrastre de las partículas más finas.

- Una vez roturado y abierto al cultivo, los tepetates deben ser mantenidos por importantes aportaciones de materia orgánica, mediante estiércoles, abonos verdes y rastrojos. En esta forma se espera que de cuatro a cinco años estariamos hablando de suelo agrícola.

CAPITULO 3. REVISION DE LITERATURA.

3.1. LA EROSION: FACTORES, TIPOS Y PROBLEMÁTICA.

Diagrama de flujo 1. Erosión: tipos y extensión.



3.1.1. Factores y tipos.

La velocidad de degradación de los recursos naturales de un ecosistema, como proceso natural, es igual o similar a la recuperación de ese ambiente. Sin embargo, la presencia del hombre conduce a desequilibrios como resultado de la inadecuada explotación de los recursos, provocando de esta manera que la velocidad de recuperación no alcance a establecer las condiciones bajo las que se encontraba ese ambiente inicialmente. Así, la tierra va perdiendo su capacidad natural para mantener en un nivel adecuado a los organismos que sobre ella se encuentran, apareciendo con ello los efectos de los diversos procesos de la degradación de la tierra (Zarate, 1991).

La degradación de los recursos naturales, en particular de la tierra, se presenta por diferentes factores. Así, se tiene que la acción del viento y/o de las lluvias sobre capas de suelo desprovistas de alguna cubierta, se torna agresiva y contribuyen a la pérdida de la capa arable.

3.1.1.1. Erosión hídrica. La FAO (1980) incluye como parte del proceso de erosión hídrica al salpicamiento, la erosión laminar, en surcos, erosión en cárcavas y diversos tipos de movimientos

de masas, por ejemplo, corrientes de tierras, corrientes de fango y solifluxión. La erosión en cárcavas alcanza una pérdida de 60 a 80 t/ha/año en suelos como los del Estado de Tlaxcala.

La erosión en los bancos de corrientes es la producida cuando son desgastados el banco o cauce por la acción de las corrientes (Hudson, 1981).

3.1.1.2. Erosión eólica. Este proceso incluye la remoción y depósito de partículas de suelo por acción del viento, y los efectos de abrasión de las partículas en movimiento cuando son transportadas (FAO, 1980); la saltación, suspensión y reptación son las clases fundamentales del transporte (Espinoza, 1992).

La erosión por el viento consiste en el desprendimiento y transporte de las partículas. La saltación, suspensión y reptación son las clases fundamentales del transporte. La erosión por el viento es de gran importancia en las regiones áridas y semiáridas, aún más notoria cuando está ausente la cubierta vegetal, al grado de ser más susceptibles a la erosión por el viento aquellas áreas agrícolas sin prácticas adecuadas (SCSDA, 1949; FAO, 1960; Zachrar, 1982).

La degradación de la tierra es básicamente originada y/o acelerada por: 1) sobre-explotación, 2) sobrepastoreo, 3) deforestación 4) riego deficiente, 5) depósito y expulsión no controlada de desperdicios urbanos e industriales (Zarate, 1991).

3.1.2. La erosión en México.

A nivel de la República Mexicana, entre 1975 y 1982, la superficie que estaba afectada por algún nivel de erosión oscilaba entre 154.63 a 164.60 millones de has. (Espinoza, 1992).

Los estudios cuantitativos realizados a nivel nacional para el proceso de degradación de la tierra por erosión hídrica y eólica indican una dominancia de las clases moderada y severa, existiendo un gran riesgo a la erosión eólica (cuadro 1).

3.1.3. La erosión en Tlaxcala.

El estado de Tlaxcala cuenta con una extensión territorial de alrededor de 4000 km², cuya fisiografía variable esta compuesta por llanuras en un 29%; los lomeríos ocupan 25% de la superficie estatal, las sierras, 24%, las mesetas alrededor del 20% y los valles, menos del 1% (Paredes, 1992).

Con la implantación del regimen colonial en la Nueva España parece iniciarse la destrucción acelerada de los bosques, particularmente en las provincias más pobladas y accesibles a la colonia, entre ellas Tlaxcala (Sosa, 1964).

En 1580, Diego Muñoz Camargo, denunció la destrucción de los piñoles del "valle de Atzompa" por los españoles (Sosa, 1964).

En 1849, José María Avalos, mencionó: "En los bosques de La Malinche continuan vegetando el cedro, en aquellos lugares donde aún no ha podido penetrar el hacha" (Sosa, 1964).

En 1883-1888, Bancroft informó que la deforestación durante los siglos XVI y XVIII fue suficientemente severa como para suscitar acción virreinal con el propósito de preservar y reemplazar árboles (Hernández, 1978).

El primer inventario de los recursos forestales de Tlaxcala fue elaborado por Antonio H. Sosa, en 1930, con el cual se encontró que sólo existían 500 km² de bosques; en tanto que cerca de 2,000 km² estaban integrados por terrenos escabrosos ya deforestados, de los cuales, alrededor de 1,000 km², "aparecían destruídos por una erosión profunda casi irremediable en la práctica" (Sosa, 1964).

Cuadro 1. Diversas cuantificaciones de la erosión en México.

Autor	Clases	Superficie cuantificada		
		ha	km ²	%
Salgado (1961) ^h	Nula	14,277,286		10
	Incipiente	26,046,149		18
	Moderada	30,518,890		21
	Accelerada	63,077,812		43
	Total	11,596,806		8
Roldán y Trueba (1978) ^h	Incipiente	66,746,000		34.89
	Moderada	46,742,000		23.96
	Avanzada	52,173,000		26.16
	Total	30,728,000		14.99
DGCSA (1979) ^h	Leve			28.3
	Moderada			34.0
	Severa			6.7
	Muy severa			1.9
Estrada y Ortiz (1982) ^h	Ligera		716,545.1	36.42
	Moderada		675,236.8	34.32
	Alta		402,533.1	20.46
	Severa		169,717.2	8.63
Ortiz y Estrada (1990) ^e	Cero ^v		20,810	1.06
	Ligera ^v		100,086	5.09
	Moderada ^v		653,946	33.24
	Severa ^v		846,702	43.04
	Muy severa ^v		345,639	17.57
	Cero ^f		-	-
	Ligera ^f		23,435.0	1.20
	Moderada ^f		170,895.1	8.68
	Severa ^f		897,868.4	45.64
Muy severa ^f		874,984.5	44.48	

h= erosión hídrica; e= erosión eólica; v= velocidad de erosión eólica; r= riesgo de erosión eólica.
Fuente: Zarate, 1991.

Las evaluaciones integrales sobre el proceso de degradación de la tierra a nivel estatal para Tlaxcala no existen, ya que sólo se han concretado a evaluar de manera cualitativa o cuantitativa la erosión provocada por el agua, en tanto que para el resto de los procesos sólo han sido a nivel local y cualitativo (Zarate, 1991).

En un estudio preliminar realizado por el Departamento de Conservación (Patiño, 1943), sobre el grado de erosión en que se encontraban los suelos de la porción central y sureste del Estado, incluyendo el volcán La Malintzin, se llegó a la conclusión de que el problema de la erosión en Tlaxcala es tan grave que de no atenderse con la diligencia necesaria, en un período de 50 años, muchos de los pobladores que se encuentran establecidos en la región, tendrán que emigrar forzosamente a otras zonas. Para esto se creó una Comisión Mixta de Conservación de Suelos.

En estudio realizado por Cruz (1949), se menciona que la superficie del estado totalmente afectada por erosión era de 284,035 has., y que las restantes 109,338 has. ya estaban efectadas por el mal drenaje o por alguna otra causa, además se cuantificaron 6,080 ha ocupadas por carreteras, ferrocarriles y poblados.

En 1966 el sistema oficial ubicó a la erosión acelerada como la causa del fuerte azolve de los arroyos, causada por el excesivo desmonte de las partes montañosas (Sol de Tlaxcala, 1966, citado por Hernández, 1978).

De acuerdo a Blanco (1975), el estado de Tlaxcala presenta las condiciones climáticas, edáficas, biológicas, geomorfológicas y agrícolas propicias para que el proceso de erosión se intensifique.

Al estado de Tlaxcala se le ubica dentro de la provincia fisiográfica denominada Eje neovolcánico. Movimiento tectónicos y procesos volcánicos son las principales causas de las diferencias en relieve que ejercen su efecto sobre el clima, la vegetación y el suelo.

Investigaciones realizadas por Werner (1975 y 1976), indican que el 80% de las precipitaciones pluviales ocurridas en Tlaxcala, provocan erosión, y que son particularmente importantes las lluvias presentadas al inicio y en la segunda mitad del temporal por su alto poder erosivo, además de coincidir con el poco desarrollo de las plantas cultivadas, lo que se traduce en poca protección al suelo y mayor arrastre de partículas.

La Subdirección de Agrología, con métodos cartográficos, encontró que la erosión hídrica dominaba en Tlaxcala con 90.3%, y efectaba de manera severa a 215,151 ha (55%), moderada a 133,876 ha (34.2%), muy severa a 35,088 ha (9%) y por último, el grado nulo a 3,945 ha (1%).

En el estudio realizado por Estrada y Ortiz (1982), se menciona que: no existe erosión severa; la erosión alta cubre 2,227.97 km² (56.92%), la moderada cubre 421.5 km² (10.77%) y la ligera cubre cerca de 1,264.52 km² (32.3%); para el estudio se utilizó la metodología FAO (1979).

La SARH, encontró que la proporción de las superficies no dañadas por la erosión sólo correspondían al 4.2% del área total, las que se encontraron en los lugares donde existían restos de bosques (Zarate, 1991).

En el estudio elaborado por Anaya *et al.* (1988), se indica que Tlaxcala esta totalmente efectado por la erosión hídrica, con un grado severo y una velocidad rápida. La escala utilizada en este trabajo fue de 1:7.5 millones.

Rámirez, en un estudio cualitativo que empleó una escala de 1:250,000, utilizando un mapa base con 57 sistemas terrestres provisionales, llegó a determinar: la erosión hídrica afecta al 78% de Tlaxcala, la clase leve ocupa el 1%, la moderada el 8%, la severa el 25%, y la extrema en 38%. La erosión eólica afecta el 9.2%, la degradación física al 4% y la química al 7%, el 1.8% restante se consideró como tierras misceláneas (Zarate, 1991).

Parte de los suelos del Estado presentan un proceso de erosión, afectada en diversos grados; alrededor de 77 mil hectáreas se encuentran con erosión avanzada y casi 10 mil hectáreas con deterioro severo. Lo que en suma representa más del 20% de la superficie estatal, con un grado importante de erosión. Una de las principales causas de este grado de deterioro es: las condiciones topográficas de territorio y los vientos dominantes del orden del los 20 a 30 km/hora de velocidad (promedio anual), que provienen del Norte. Los valles de la región norte, noroeste y noreste, desprovistos de vegetación arbórea, son susceptibles a la erosión eólica. Tiene un impacto importante también la erosión hidráulica que se presenta en las laderas con pendientes de 5 a 10 grados y en la que se registra una precipitación media anual entre los 900 y los 1200 mm, provocando un adelgazamiento del suelo.

La superficie de Tlaxcala, en función de sus condiciones agro-ecológicas, se distribuye de la siguiente manera: alrededor del 60% con vocación agrícola, el 8% con vocación pecuaria, el 15% con vocación forestal, y el 16% erosionada, sin uso productivo (Paredes, 1992).

La parte de bosques es estable, cubriendo 10% de la superficie estatal, mientras que la actividad agrícola emplea el 71% del total del estado (La Jornada de Oriente, 1994).

Del total del área del estado de Tlaxcala, actualmente hay cerca de 15% con tepetate aflorado, pero más de la mitad del territorio estatal es susceptible al afloramiento de esta capa dura ya que el tepetate cubre el 54% de la superficie estatal (Zebrowski, 1991).

Aproximadamente el 70% de la superficie total del Estado de Tlaxcala y del sur del Estado de Hidalgo es de suelos volcánicos, que por sus propiedades originales y las condiciones climatológicas en el Altiplano Mexicano, tienden a la formación de tepetates (fragipanes) (Werner, 1992).

Un sustrato de los conocidos como tepetate pierden en promedio, en la región de Tlaxcala y Puebla, 80 ton. de material al año por cada hectárea, únicamente por efecto de la erosión hídrica; si el suelo tiene vegetación solo permite el desplazamiento de entre 6 y 8 kilos en la misma área. El 56% del total de la superficie tlaxcalteca esta en riesgo de ser tepetatosa (La Jornada de Oriente, 1994).

Pineda (1990) señala una gran tradición de conservación de suelos en el Estado de Tlaxcala, rescatándose a la fecha aproximadamente 45,000 ha a través de cuatro programas gubernamentales sobresalientes. No obstante, propone las alternativas de solución indicadas en el cuadro 2, teniendo como marco de referencia el paisaje terrestre a nivel regional (Espinoza, 1992).

3.1.4. La erosión en el municipio de Hueyotlipan.

Los primeros asentamientos agrícolas en el área de Hueyotlipan, tuvieron lugar probablemente al principio de la era cristiana, cuando se dió la colonización de zonas cada vez más alejadas, y cuando ya se dominaba la técnica de la terraza y el metlepanle (del Náhuatl, "pared de magueyes"). La mayor parte de las obras agrícolas se realizaron unos 70 años antes de la invasión. Esto nos lleva a pensar que los cambios y la erosión de los sistemas agrícolas de terraza y metlepanle en Hueyotlipan provienen de la época colonial (Romero, 1992).

Cuadro 2. Alternativas propuestas para el problema de la erosión en el Estado de Tlaxcala.

Alternativa	Superficie (has)	Costo (millones de pesos)	Empleos anuales
Reforestación	57,716	992	65,796
Pastización	13,406	10	729
Terrazas y cetos	45,763	254	8,424
Técnicas agronómicas	174,755	3	122

Fuente: Pineda, 1990.

Cuando la conquista, los guerreros Tlaxcaltecas sumaban más de 100,000, por lo que se deduce que desde entonces tenían fuerte densidad de población y que, para alimentar a tanta gente debieron contar con extensiones amplias de tierra fértil.

Luego de consumada la invasión, los españoles contribuyeron enormemente a acelerar el proceso erosivo de nuestros territorios (por sus enfermedades, por sus sistemas pecuarios extensivos). La población de Hueyotlipan descendió más de 90% para finales del siglo XVI (Trautmann, 1981), lo que condujo al abandono de gran parte del territorio agrícola, afectando principalmente a las terrazas. Durante el siglo XIX, los hacendados del área de Hueyotlipan utilizaron nuevamente el sistema de metlepanle para la producción de pulque y trigo, introduciendo nuevas prácticas agrícolas y de riego intensivo a este sistema, rescatando una gran cantidad de áreas agrícolas (Romero, 1992).

Así se veía al municipio hace 30 años: Hueyotlipan (sobre el camino real), antigua parada del camino de Tlaxcala a México; pertenece a la municipalidad del distrito de Ocampo, Estado de Tlaxcala; su cabecera es Calpulalpan; sus mejores productos vienen de los extensos magueyales, que forman parte de los llanos de Apam. Presenta triste aspecto por la escasa vegetación, pobreza de las casas y, por extenderse sobre una eminencia casi al borde de una barranca (Nava, 1969).

En el municipio de Hueyotlipan, las tobas (rocas) que se localizan son la cuarzólficas (1), la de mayor extensión en el estado, y la traquiandesítica (tobas piroclásticas) (que se depositaron en un medio terrestre).

(1). Toba cuarzólfica. Esta roca fácilmente se erosiona en cárcavas, por efectos del agua, su velocidad de infiltración es moderadamente rápida (4.5 cm/hora). El uso actual de los suelos que se desarrollan sobre estas rocas es la agricultura de temporal con baja productividad, así como bosques de pino, cedro blanco y encino.

Las tobas son rocas piroclásticas, formadas por materiales detríticos, expulsados por las chimeneas volcánicas, transportados por el aire y depositadas en un medio terrestre o acuoso, donde posteriormente son litificadas hasta convertirse en rocas.

Una geología regional caracterizada por la presencia de tobas volcánicas fácilmente erosionables; la existencia de áreas con relieve ondulado combinados con el abuso de las áreas de cultivo, han hecho que en el estado de Tlaxcala en general y en el municipio de Hueyotlipan en particular, predomine la erosión de tipo hídrico (Rodríguez, *et al*, 1979).

Hoy la tala inmoderada de los bosques ha llegado a terminar casi con ellos. Lo anterior ha provocado la degradación paulatina de las tierras. En particular, en el municipio de Hueyotlipan predomina la erosión moderada hídrica, existiendo también la erosión severa hídrica y, en menos proporción, la muy severa hídrica (Zarate, 1991). La construcción inadecuada de caminos incrementó el proceso de formación de barrancas, principalmente en la zona Hueyotlipan-Apizaco, y junto con la introducción de maquinaria agrícola, deforestación creciente, monocultivo, y pastoreo, han acentuado los procesos de erosión (González, 1992). Esto favorece el afloramiento del sustrato tepetate. En relación al recurso "tierra agrícola" la estrategia, de las familias campesinas, ha llevado a valorizar los tepetates, los cuales representan sensiblemente el 30% de las tierras agrícolas (Navarro, 1994).

3.2. EL SUSTRATO TEPETATE: DEFINICION, EXTENSION, CARACTERIZACION Y MANEJO.

Uno de los resultados de la erosión, sobre todo hídrica, es el afloramiento de los sustratos conocidos como tepetates.

3.2.1. Definición y nomenclatura.

Tepetatl o tepetate, simbolizado por tetl y petatl, manto de piedra o estrato endurecido (Ortiz y Gutiérrez, 1993).

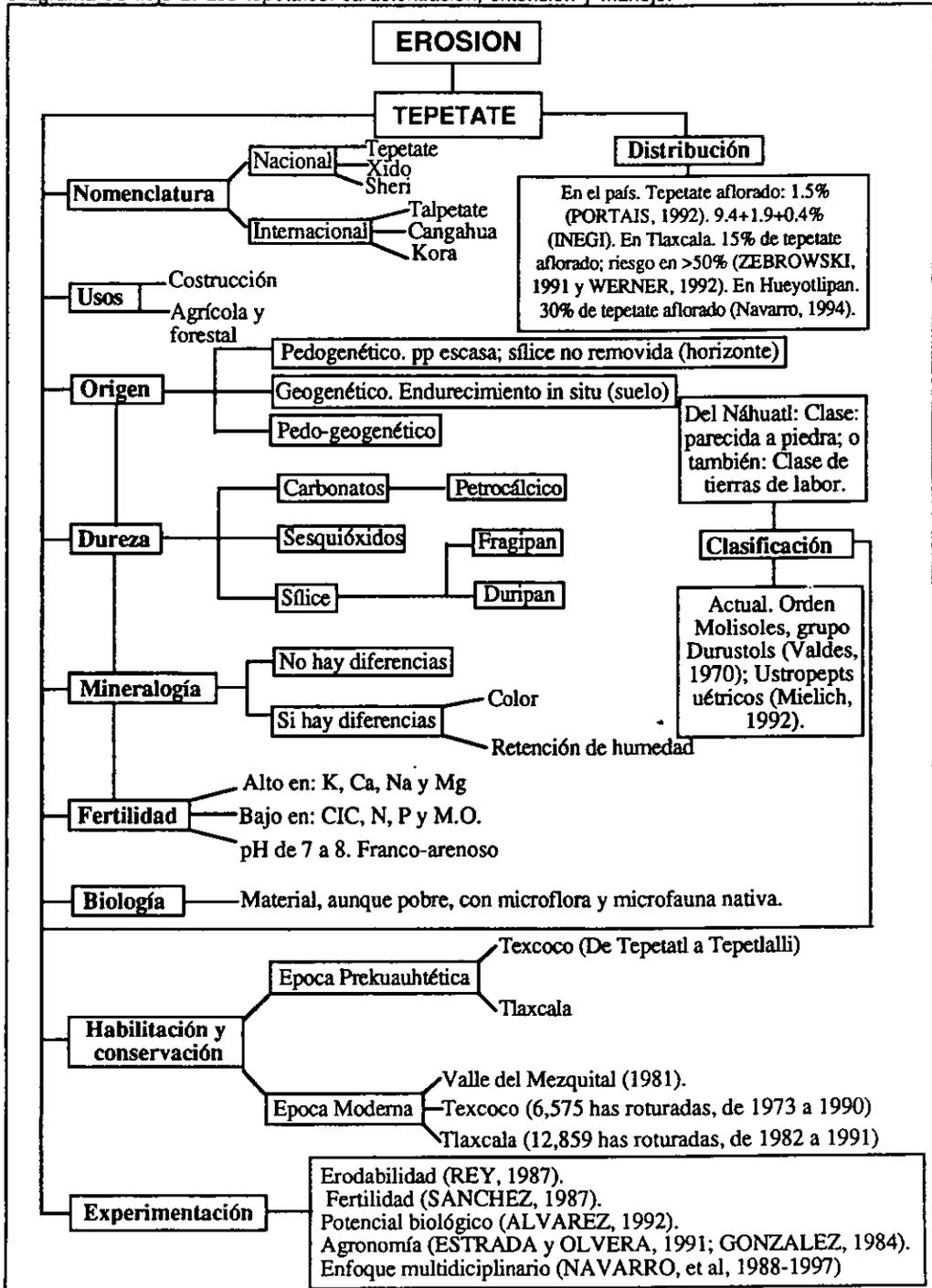
El diccionario de mexicanismos (Santa Maria 1959) señala dos acepciones de tepetate: 1) Tipo de roca amarillo-blanquisca con un conglomerado poroso o permeable el cual cuando se corta en bloques es usado en construcción. 2) Sustancia arcillo blanco-amarillenta que compone la roca del mismo nombre (Sánchez, 1987).

Los horizontes volcánicos endurecidos tienen diferentes acepciones según el país en los que se han localizado, y aún, dentro de un mismo país (cuadros 3 y 4).

3.2.2. Localización geográfica y extensión.

La presencia de suelos volcánicos endurecidos es común en algunos países de América (Etchevers, 1992). La extensión de los horizontes endurecidos y localización exactas se conocen únicamente en los países en los que se ha realizado un inventario exhaustivo (México, Ecuador y en forma parcial en Nicaragua y Chile). Estas formaciones se encuentran generalmente en regiones en las que el clima presenta una temporada seca bien marcada (Zebrowski, 1992).

Diagrama de flujo 2. Los tepetates: caracterización, extensión y manejo.



Los suelos volcánicos endurecidos, o "tepetates" en el idioma local, cubren gran parte del México Central, y el problema de su endurecimiento se presenta en más de tres millones de hectáreas de la República Mexicana (Portais, 1992). Solamente en lo que respecta a los países de América que miran al Pacífico, incluyendo México, los países de América Central y los de América del Sur, los suelos volcánicos cubren una superficie de 1,376,000 km², es decir, el 23.2% del área que ocupan dichos países (casi 6 millones de km²) (Zebrowski, 1992).

Cuadro 3. Nomenclatura de Endurecimiento.

País o etnia	Término
Geólogos internacionalmente	Silcrete
Estados Unidos	Duripán y fragipán
México	
Nahuatl	Tepetate
Otomí	Xido
Tarasco	Sheri
Nicaragua	Talpetate
Antillas	Pan
Colombia	Duripan (antes harpan)
Ecuador	Cangahua
Perú	Harpan
Chile	Cancagua, Moromoro, Tosca.
Japón	Kora, Masa.

Fuente: Nimlos, 1987.

Cuadro 4. Nomenclaturas usadas para costras carbonato-cementadas.

Nombre	Usados por
Petrocalcico	Pedólogos, Estados Unidos y México.
Caliche	Geólogos, agricultores mexicanos.
Tepetate	Agricultores mexicanos
Tertel	Pedólogos chilenos
Calcrete	Geólogos/geógrafos

Fuente: Nimlos, 1987.

En México mapas pedológicos elaborados por el INEGI hacen mención de los suelos volcánicos que presentan un horizonte duro en profundidad. La planimetría de estas formaciones indica que cubren una superficie de 30,700 km², o sea, el 27% de la superficie del eje neovolcánico mexicano (Zebrowski *et al*, 1991). En ciertos estados de la república la extensión ocupada por los tepetates es elevada; por ejemplo, en el estado de Tlaxcala estos últimos cubren el 54% de su superficie (Zebrowski, 1991).

En un estudio cartográfico nacional, a escala 1:4,000,000, realizado también por el INEGI se consideran tres tipos de horizontes endurecidos: petrocálcicos, duripán y petrogípsicos; estos ocupan respectivamente 13,901,800; 3,724,700 y 692,000 hectáreas, lo que representa 9.38, 1.90 y 0.35% de la superficie territorial. Los primeros se encuentran distribuidos principalmente en el noreste y centro del país, en climas áridos y se denominan comunmente "caliche". Los duripanes o capas cementadas por silice se ubican en zonas con climas subhúmedos y semiáridos, con periodos de lluvia estacional, en las cercanías del Eje Neovolcánico y en los estados de Aguascalientes y San Luis

Potosí. La mayoría de estos corresponde a verdaderos tepetates. Los petrogípsicos son capas cementadas por CaSO_4 y a veces CaCO_3 , extremadamente duras, que aparecen en zonas con gran demanda evapotranspirativa (climas áridos), particularmente en cuencas endorréicas de los estados del norcentro del país.

3.2.3. Origen.

De manera natural los tepetates se encuentran en el suelo desde los 0.30 hasta 1.50 ó más metros de profundidad. Sin embargo, gran parte de ellos aparecen en la superficie debido a la erosión de los suelos que los cubrían, dando lugar a paisajes áridos y en apariencia sin posibilidad de uso (Peña y Zebrowski, 1992).

Los materiales originales están básicamente constituidos por proyecciones piroclásticas bajo forma de lluvia o de flujos. El endurecimiento de las formaciones puede ser de origen geológico (endurecimiento en el momento del depósito, en el caso de los flujos piroclásticos) o pedológico, con aporte de cementos tales como el carbonato de calcio o la sílice (Zebrowski, 1992).

Geológicamente el tepetate es un material volcánico depositado en forma líquida (de la época del plioceno), consolidado de ligero a moderadamente por una matriz de arcilla y sedimentos finos con bandas de caliche que se encuentran a lo largo de la formación (Williams, 1972).

Pedológicamente es definido como un horizonte cementado de color pardo a café rojizo de consistencia dura a friable y textura de arcilla hasta grava fina (Williams, 1972).

Agronómicamente los tepetates son estratos endurecidos que afloran a la superficie terrestre y que en un principio descansaba sobre ellos una capa fértil de suelo, la cual fue eliminada por el fenómeno erosivo, consecuencia del mal manejo (Sánchez, 1987).

La génesis y la nomenclatura de los horizontes endurecidos o tepetates ha sido motivo de controversia y ha resultado ser compleja. Nimlos (1987) señala como razón de dicha complejidad a que en algunos casos el origen de los horizontes endurecidos es claramente pedogénico, mientras que en otros es geogénico o bien una combinación de ambos (Alvarez, 1992).

Hay autores que consideran más aceptable el origen pedogenético:

Los tepetates o duripanes se forman en ciertas regiones áridas y semiáridas, donde el material es de sedimentos volcánicos. En estas zonas la precipitación no es tan copiosa para provocar el lavado del ácido silícico (producto del intemperismo de los sedimentos volcánicos), y su eliminación correspondiente. Esto conduce a que en cierta profundidad se produzca la cementación por sílice por su movilización y transporte estacional a un estrato inferior. Una vez que la capa se ha endurecido, su dureza alcanza valores similares a la de las rocas coherentes (Werner, 1977).

Una hipótesis sobre el origen de las costras endurecidas sílico-cementadas en la zona neovolcánica de México, ha sido propuesta por Quiñones (1987), en la cual se señala que debido a la escasa precipitación pluvial en la zona, el ácido silícico no puede ser lavado y eliminado del perfil del suelo, como es el caso de las regiones tropicales húmedas, y conduce a que en la zona edáfica de mayor

penetración de agua de lluvia se produzca la sílico-cementación, por movilización y transporte estacional y anual del ácido silícico a ese horizonte (Alvarez, 1992).

Flach *et al* (1969) hicieron una revisión de la pedocementación y de tipos de endurecimientos. Sus datos demuestran que los tres cementos más comunes (carbonatos, sesquióxidos y sílice, solos o en combinación), dan costras de morfologías bastantes diferentes. Los carbonatos son constituyentes comunes edáficos fácilmente removibles. Los carbonatos iluviados se dan mundialmente en climas áridos o semiáridos. En México, donde se dan cementos de carbonato en combinación con sílice, se les encuentra en el metro superior de una gruesa costra silicocementada (Nimlos, 1987).

También existen autores que consideran más factible el origen geogenético de los tepetates:

Váldez (1970), menciona que la formación de los tepetates se debe a la alternancia de períodos secos fríos y húmedos calientes, produciendo un proceso de transformación de los suelos "in-situ". Bajo estas condiciones las arcillas y los óxidos de hierro así como los carbonatos y principalmente el sílice soluble, proveniente de cenizas volcánicas, se consolidan y cementan capas, provocando la formación de tepetates. Menciona además, que los tepetates son de origen aluvial y vienen a constituir depósitos ocasionados por el arrastre de las deglaciaciones, todo lo cual forma parte del relleno de la Cuenca.

Y, también hay investigadores, al parecer la mayoría, que consideran que ambos orígenes tienen que ver en la génesis del tepetate: Las costras sílico-cementadas probablemente sean los tipos de endurecimiento más comunes de la América Latina, especialmente en suelos derivados de cenizas volcánicas, pero su génesis es menos conocida que la de otros tipos de costras, y es más complicada. En algunos casos las costras sílico-cementadas son claramente pedogénicas: se produce eluviación de la sílice en un horizonte superior e iluviación en uno inferior, donde cementa al horizonte. Pero como su solubilidad es baja, suele encontrarse como cemento en materiales muy antiguos (Nimlos, 1987).

La sílice amorfa es mucho más soluble que su equivalente cristalino, por lo cual las costras sílico-cementadas se forman más rápidamente en cenizas volcánicas que en otros materiales bajo condiciones semejantes (enfriamiento rápido de las cenizas que no da tiempo a que el sílice se cristalice). Pero la génesis es complicada por que algunos endurecimientos son claramente más geológicos que pedogénicos. Este es el caso particularmente de endurecimientos muy profundos. Se han descrito costras en México (Nimlos y Ortiz, en prensa) de 100 m de profundidad y de 200 m en el Ecuador. Es claro que el transporte de sílice por procesos pedológicos no es capaz de explicar este tipo de costras, que debieron desarrollarse por procesos geológicos (Nimlos, 1987).

Hay dos modos más, además del proceso edáfico en cenizas volcánicas, para la formación de costras sílico-cementadas. a) Involucra flujos cinerfíticos. Al término del proceso se produce un material duro muy semejante a las costras sílico-cementadas pedogénicas, pero claramente de génesis geológica. b) Cementación sílicea en la superficie de depósitos de nube ardiente: una costra puede formarse en la superficie del depósito mediante procesos pedogénicos (Nimlos, 1987).

Hay endurecimientos sílico-cementados que no son claramente ni geogénicos ni pedogénicos.

En una investigación, similar a la realizada años atrás en el Estado de Tlaxcala, sobre los tepetates de la vertiente occidental de la Sierra Nevada, con el uso de toposecuancias y de perfiles culturales profundos, se describen los materiales originales través de una secuencia cronológica, la cual se presentan a continuación: La parte basal de los depósitos está constituida por materiales dacíticos de gran espesor (nubes ardientes de cenizas, lapilli y bloques) poco alterados. Una segunda serie de depósitos, ya alterados, de color pardo rojizo vivo, cubre este conjunto. Por su similitud con la reportada en el Estado de Tlaxcala, se consideró como la formación T3, cuya edad es mayor de 20,000 años. Dicha serie consiste de flujos piroclásticos intercalados con depósitos de cenizas y lapilli, que frecuentemente han sido retransportados por la acción del agua. Se presenta una secesión de capas en las cuales las más duras y macizas (tepetates t3) subyacen a otras menos macizas, bien estructuradas, aunque coherentes, con abundantes cutanes. Estas últimas corresponden a paleosuelos. Una tercera serie de depósitos corresponde sin duda a la formación T2 (13,500 años) descrita en Tlaxcala. En la parte baja del piedemonte, esta serie que no sobrepasa los dos metros de espesor, esta constituida por un suelo gris oscuro, vértico, más amarillo en profundidad, bajo el cual se encuentra una capa masiva y dura (t2) que aflora a la superficie por erosión del suelo superior. Finalmente esta serie esta cubierta por una capa delgada (10 a 40 cm) coluvio-aluvial que puede estar mezclada con aportes recientes de cenizas volcánicas (Peña y Zebrowski, 1992).

3.2.4. Dureza.

Zebrowski (1992) señala que a pesar que no existen estudios sistemáticos de la dureza de los tepetates, varios procedimientos explican el endurecimiento, entre éstos destaca: 1) el endurecimiento por simple compactación o por transportación de los materiales en el agua, 2) el endurecimiento de los materiales en el momento de su depósito y 3) el endurecimiento por procesos pedológicos que aporten elementos en solución calificados de cemento.

Algunos tepetates se endurecen bajo efectos de procesos geológicos, mientras otros son paleosuelos endurecidos con cementantes (sílice y/o caliza) provenientes de la evolución pedológica del material inicial que puede ser un suelo o un depósito piroclástico (Dubroeuq, *et al.* 1989).

Finalmente, hay endurecimientos que pueden ser geogénicos y pedogénicos a la vez. Los endurecimientos profundos en México, de 100 metros, deben haberse producido por procesos geológicos, pero Mielich (1954) ha encontrado que son más duros en su parte superior, que más abajo en su perfil, lo cual sugiere la migración de cierta cantidad de sílice a la parte superior de un endurecimiento geogénico.

Independientemente de la clasificación del proceso genético involucrado, hay al menos dos tipos de horizontes sílico-cementados. El que esta débilmente cementado se desmorona en agua y recibe el nombre de fragipan. Se sugiere (Steinhardt, 1982) fuertemente que la sílice esta involucrada en la cementación de los fragipanes. Otro tipo de costra sílico-cementada, la fuertemente cementada, recibe el nombre de duripan en los Estados Unidos (Soil Survey, 1974. Nota del traductor: este término se

adoptó en el sistema FAO-UNESCO). Tiene densidad relativamente elevada, es extremadamente duro, especialmente seco, no se desmorona en agua (Nimlos, 1987).

A pesar de que gran número de autores menciona los procesos de endurecimiento; pocos han recurrido a medidas de dureza, se trata sobre todo de medidas subjetivas como: bloque que se rompe con mayor o menor facilidad con la mano o con el martillo, etc. Algunos autores han realizado medidas sistemáticas en el terreno mediante el penetrómetro, o con mayor frecuencia en el laboratorio midiendo la resistencia de la muestra a la fragmentación (marco de carga). La dureza de los horizontes de tepetate expuesto al aire libre, medida con un penetrómetro, varía con frecuencia no solo entre las muestras mismas sino en función de la humedad de la muestra en el momento de su medición. Los valores obtenidos en los tepetates (Miehlich, 1984; Peña y Zebrowski, 1991) oscilan entre 150 y 800 kg/cm².

En México dos tipos de tepetate han sido particularmente bien estudiados: el tipo "fragipán" en la región de México y Tlaxcala; el tipo "silificado" (duripán), cerca de Xalapa, Veracruz. También se ha estudiado el tipo "petrocálcico" en un estudio de escostramiento calcáreo cerca de Perote, Veracruz (Quantín, 1996).

3.2.5. Mineralogía.

Váldez (1970), estudiando la mineralogía de los tepetates encontró que no existen diferencias mineralógicas de estos materiales, entre los más abundantes se presentan: cuarzo, feldespatos, cristobalita, pirozenos, anfíboles, ferromagnésicos y carbonatos de calcio (Pacheco 1979).

Rey (1979), estudió la mineralogía de los tepetates basándose en su color y encontró que el tepetate blanco presentó cuarzo, feldespatos, microclina y ortoclasa alterada y como cementante al Ca CO₃, pero no en forma de calcita sino caliche; el tepetate amarillo tiene vidrio volcánico y como cementantes minerales arcillosos y por último los tepetates rojos contienen cuarzo, feldespatos y vidrios volcánicos; además los tres tipos de tepetates contienen illita, esmectita, y material amorfo y los clasifica como tobas andesíticas alteradas.

Considerando los componentes del tepetate es importante reconocer el papel de los organismos en este tipo de material pues tenemos que la fuente de sílice edáfica biogénica son las plantas vasculares, diatómeas y esponjas, en ese orden de importancia y entre las vasculares se destacan las monocotiledóneas, especialmente las grámíneas (pastos, bambúes, arroz y granos). Su contenido en SiO₂ va de 3 - 5 % del peso seco, aunque se han encontrado contenidos superiores al 20% en pastos. Por otra parte las dicotiledóneas acumulan 10 veces menos de sílice, pero las agujas de algunas coníferas pueden dar hasta un 7.9% del peso seco.

El tepetate blanco es diferente del tepetate amarillo y rojo, tanto en color en seco como en húmedo; el tepetate amarillo y rojo son diferentes en cuanto a color en húmedo, pero no así en seco, por lo que se dice que el tepetate rojo tiende al amarillo.

En la fracción arenosa el mineral predominante 90% es la andesina (70-50% de $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$ y 30-50% $\text{Ca Al}_2\text{Si}_2\text{O}_8$) lo que significa que el 57% de el tepetate esta compuesto por esta plagioclasa sódica. Los tepetates de diferente color poseen igual composición mineralógica en la fracción arenosa con diámetro de 1 a 0,5 mm (Pacheco y Estrada, 1987).

Probablemente la diferencia de la capacidad de retención de humedad entre el tepetate rojo y el blanco, se debe a la presencia de la arcilla del tipo 1:1 metahalloysita la cual solo esta presente en el tepetate rojo (Sánchez, 1987).

Existe una seria dificultad para poder definir con precisión el porque de las diferencias de color entre el tepetate rojo y el blanco. Según Gaucher (1971) los materiales que deben su color a los elementos cromógenos de la roca madre son llamados litocromos, en el caso de la coloración roja, dice que se produce por procesos de alteración de silicatos férricos que liberan hierro en forma mineral (hematita Fe_2O_3 -geotita- $\text{FeO}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$) (Sánchez, 1987).

La formación de los tepetates se da como producto de la cementación de las partículas por materiales diversos, principalmente por la sílice soluble derivada de cenizas volcánicas y también en gran parte por los óxidos e hidróxidos de hierro (principalmente hematita), las arcillas, y en algunos casos también carbonatos (Váldez, 1970; Gutiérrez, 1988; Oleschko, *et al.*, 1991; Alfaro, *et al.*, 1991).

Una de las principales causas de la erodabilidad de todos los tepetates estudiados es la presencia del feldespato plagioclasa sódica, pues es bien conocida la fuerte acción defloculante del ión sodio al intemperizarse (Rey, 1987).

El clima juega un papel importante tanto en la existencia como en las características de los tepetates. La diferencia entre la composición mineralógica de las arcillas de los depósitos de la serie t3 (haloisita) y las de los depósitos de la serie t2 (esmeclitas), permiten afirmar que los primeros han sido meteorizados en un clima más húmedo. Una fase de erosión intensa ocurrida entre estas dos fases de pedogénesis, se manifiesta tanto por los rasgos de erosión evidentes en la formación t3, como por la presencia de cantos rodados entre estas dos series. Los tepetates más duros y los más ricos en carbonatos de calcio aparecen en las zonas más secas (Peña y Zebrowski, 1992).

Investigaciones más recientes indican el papel de los diferentes minerales en la formación de las tres tipos de encontramientos en México. Hidalgo, *et al.* muestran que el tepetate fragipán es una toba alterada a la base de un paleosol; estos autores caracterizaron tres niveles estratigráficos (2, 3, 4) con tepetate. La composición de los minerales arcillosos, interestratificados haloisita-esmeclita, esta en relación con una climotoposecuencia de alteración y con cierta variación climática del Pleistoceno superior. La cohesión del fragipán se debe esencialmente a la organización frente a frente y compacta de las hojas arcillosas. Pero existe también un poco de gels de silicio y de ópalo A, que contribuyen al endurecimiento del material en estado seco. Sin embargo esta propiedad es reversible a causa de la predominancia de arcillas hinchables.

Ressignol *et al*, recuerdan que los tepetates silicificados están localizados en una secuencia de transformación por redoximorfia de un suelo muy arcilloso con haloisita en ópalo y cristobalita (Dubroeuq, *et al*, en publicación). Campos *et al* muestran que el estado inicial de degradación por redoximorfia en las bandas "grises" se manifiesta a través de la alteración de arcilla y de titanomagnética en un producto más rico en Si y en Ti.

Por último, Dubroeuq *et al* describen en detalle las formas de la calcita en un horizonte que es calcáreo friable y en un horizonte encostrado, en un andosol vítrico con vegetación de pino. Estos autores demuestran que la acumulación calcárea es primero biogénica en la esfera de la raíz actual (calcáreo friable) y luego se moviliza y se acumula en el encostramiento, en donde está acompañado de ópalo A (Quantin, 1996).

Particularmente, en Tlaxcala se realizó un estudio micromorfológico de los tepetates, el cual resuelve que: Hay varios factores que indican que el endurecimiento se debe a fenómenos secundarios, los cuales conducen a una cementación o impregnación.

Las investigaciones micromorfológicas muestran que una fuerte consolidación es causada por la formación de nuevas arcillas, la cual es responsable de la cementación de las partículas de los sedimentos incluyendo los agregados. Esta consolidación puede ser reforzada por la impregnación de compuestos de hierro, que da al material coloraciones amarillentas, cafésáceas o rojizas. Un importante paso para el endurecimiento es el cubrimiento de los poros gruesos, excepcionalmente de los canales de las raíces, por arcillas eluviadas. Debido al aumento del número y del espesor de los revestimientos arcillosos en los horizontes de "tepetate", el endurecimiento crece. El climax del endurecimiento del "tepetate" se alcanza por el enriquecimiento de ácido silícico y/o compuestos de hierro, dentro y encima de los revestimientos arcillosos, así como el ácido silícico y/o los geles de hidróxido de hierro que infiltran de manera difusa a los sedimentos. La precipitación del ácido silícico es el resultado del secamiento, el cual podría no ser terminado todavía (Hessmann, 1992).

3.2.6. Caracterización físico-química.

Además de la cementación y dureza que caracteriza a los tepetates, estos presentan muy bajo nivel de fertilidad, especialmente en el contenido de materia orgánica, nitrógeno y fósforo, así como en la capacidad de intercambio catiónico; siendo ricos en potasio, calcio, magnesio y sodio (Cajuste y Cruz, 1987a; Etchevers, *et al*, 1991); con un pH de 7 a 8. Adicionalmente, Cajuste y Cruz (1987) encontraron deficiencias de manganeso y zinc y altas concentraciones de hierro. Estos autores atribuyen las deficiencias de estos micronutrientes a el pH y a los contenidos de calcio y sodio presentes en el tepetate. Los valores de pH son por lo general alcalinos por la presencia de sodio y carbonatos (Alvarez, 1992).

Por su parte Sánchez (1981) compara tres métodos de determinación de textura para dos tipos de tepetate, considerándolos franco-arenosos; aunque Cruz y Merino consideran que tienden a ser migajón-arenosos. Las más altas pérdidas de suelo se presentan en el tepetate gris (blanco), luego el rojo y al último el amarillo; esa misma situación se da en cuanto a la pérdida de cationes y aniones. El

tepetate gris presenta mayor dureza (Contreras, 1986; Valdez, 1970 y Trueba, 1979; citados por Delgadillo, 1989).

Del análisis granulométrico, el mayor porcentaje de arena (de 0.05 a 2 mm) corresponde al tepetate rojo (66.66%), le sigue el tepetate amarillo con 64.08% y finalmente el tepetate blanco con 59,02% de arena (Pacheco y Estrada, 1987).

El color del tepetate muestreado es gris claro a pardo; su dureza varía de muy dura a débilmente dura. Algunas muestras fueron sumergidas en agua; se desmoronaron después de uno o dos días (Campos y Resignol, 1987).

En un experimento con adición de diferentes tipos de abonos, se caracterizó el tepetate teniendo que los resultados más importantes del experimento fueron: pH de 8.8 y de 7.9 para los tepetates rojo y blanco respectivamente, de textura franco arenosa, con mayor capacidad de retención de humedad para el tepetate rojo (Sánchez, 1987).

En los tepetates de la vertiente occidental de la Sierra Nevada, la naturaleza del material parental (T3, T2, T1) y el clima han sido los principales responsables de las propiedades físicas y mineralógicas que caracterizan a los grupos de tepetates estudiados (Peña y Zebrowski, 1992).

Se analizaron químicamente, por métodos convencionales, 15 muestras provenientes tanto de horizontes endurecidos ubicados dentro de un perfil, como capas de tepetate expuesto; son materiales de los estados de México y de Tlaxcala. Todos los tepetates, independientemente de su clasificación, presentaron CaCO_3 , ya sea uniformemente distribuido en la masa o en forma laminar, que varió de 1.4 a 14.2%, lo cual se atribuye a la naturaleza del material parental y a las condiciones de clima en que se desarrollaron. Estas diferencias explican parcialmente la dureza de estos materiales y las diferencias micro-nutrimientales reportadas. El pH de los tepetates fue alcalino al medirse en agua y neutro en KCl 1N. Los porcentajes de C y de N de las muestras fueron extremadamente bajos; algo similar ocurrió con la cantidad de P disponible para las plantas, que se encontró sólo en trazas. La CIC de los tepetates t3 con poco carbonato en campo fue mayor que la de los t2 de igual condición (32.0 vs 19.6 meq/100 g). Estos valores no concuerdan con la abundancia relativa de esmectita y haloisita reportada en la literatura para los tepetates t2 y t3. El porcentaje de saturación de bases es elevado. La concentración de Ca extraíble en acetato de amonio es mayor que la de Mg y es más elevada en los t3 que en los t2 con poco carbonato de calcio. Las concentraciones de K intercambiable son altas (0.6 a 3.4 meq/100 g) (Etchevers, 1992).

3.2.7. Clasificación.

Esta capa endurecida, de acuerdo a la clasificación campesina, puede ser de color rojo, amarillo y blanco; duro o muy duro; arenoso o pesado (Márquez, *et al.*, 1991).

La clasificación debe considerar su carácter de dureza más o menos reversible (se debe utilizar el término "fragipan" solamente para los horizontes que se disgregan en el agua) y la naturaleza del cemento (Zebrowski, 1991).

A pesar que Váldez (1970) menciona que los tepetates son "duripanes" y se clasifican de acuerdo a la séptima aproximación dentro del orden Molisoles y dentro del grupo tentativo de los Durustols, abundantes tepetates son fragipanes. Al respecto Flach, *et al.* (1991) señalan que la taxonomía de suelos reconoce como duripanes a los horizontes endurecidos del suelo cementados por sílice. Sin embargo, este último autor indica que esta definición separa los duripanes de los horizontes no endurecidos del suelo y de los que se cementan cuando están secos y se reblandecen cuando se humedecen (fragipanes), además de los horizontes cementados por hierro (los ortshstein) carbonato de calcio (petrocálcicos) o yeso (petrogipsicos). Nimlos (1987) recomienda llamar "duripanes" a las costras sílico-cementadas y "petrocálcicos" a las costras carbonato cementadas. Cuando ambos tipos de cementantes están presentes, este último autor menciona que deberán ser llamados "duripanes" ya que su definición toma en cuenta la presencia de carbonatos además de sílice.

Los tepetates son horizontes subyacentes endurecidos de Ustropepts Eútricos (Mielich, 1992).

Según la clasificación de suelos FAO-UNESCO (1979) considera a los duripanes como horizontes del subsuelo fuertemente endurecidos por el silicio, de manera que los fragmentos, saturados en agua o ácido clorhídrico no reblandecen. Los duripanes varían en el grado de cementación por sílice y además pueden ser endurecidos por óxidos de hierro y carbonato de calcio (Sánchez, 1987).

Las referencias bibliográficas parecen indicar que los tepetates de México son demasiado variables y poco definidos para entrar en la definición habitual de los duripanes (Flach, 1992).

Dentro de los mismos tepetates podemos encontrar clasificaciones, basadas en criterios estatigráficos y climáticos; esto permitió definir los siguientes seis tipos: tepetates desarrollados a partir de brechas volcánico-sedimentarias, sin CaCO_3 ; tepetates t₃ sin CaCO_3 , y t₃ con CaCO_3 ; tepetate t₂ sin CaCO_3 y t₂ con CaCO_3 y los tepetates t₁ (La serie t₁ se encuentra en los piedemontes del norte del área de estudio, en los cuales no ha sido posible identificar las series t₂ y t₃) con CaCO_3 (Peña y Zebrowski, 1992).

Un análisis de documentos sugiere que en la clasificación nahuatl de materiales terrestres del siglo XVI, tepetate fue una clase deductiva definida por una consistencia algo friable y pertenecía a una clase superordenada de materiales "parecidos a piedra", y al mismo tiempo fue una categoría inductiva configuracional incluida en la clase superordenada "tierras de labor". Glifos de suelos dibujados en dos manuscritos pictóricos (Códice Santa María Asunción y Códice Vergara) muestran una taxonomía formal de tepetate de labor basado en su textura (y quizá la dureza y otros atributos) (Williams, 1992). En el Códice Santa María Asunción, que se considera fue escrito entre 1550 y 1579 y que corresponde a la región Texcoco-Tepetlaoxtoc, Williams (1976), realizó un conteo de los glifos, indicando que tetl (piedra) se repite 230 veces y que corresponde al 16% de las 1505 parcelas que integraban este estudio, pero también existían 64 glifos que aparecían sólo una vez y otros 22 glifos que se presentaban 2 veces. Con lo anterior se quiere enfatizar que los glifos no eran dibujos al azar, sino más bien, se empleaban para representar sistemáticamente diferencias de suelos (tierras).

El Códice Humbolt y el Códice Vergara también presentan glifos de clases de tierras. En el Códice Florentino se mencionan "clases de tierra" (Ortiz y Gutiérrez, 1993).

El uso contemporáneo coloca al tepetate dentro de ambos dominios de suelo y no-suelo, siguiendo la clasificación original indígena, pero mantiene sólo el atributo "parecida a piedra", con las clases subordinadas basadas sobre el color (Williams, 1992).

3.2.8. Biología.

El manejo inadecuado de los suelos agrícolas, que a través del tiempo han perdido la capa arable, ha dado como resultado suelos marginados con afloramiento de tepetate y al mismo tiempo han alterado la microflora y la microfauna, lo cual ha dado origen a lo que se conoce como erosión biológica (Ferrera-Cerrato *et al*, 1996).

El sistema radical de las plantas se encuentra asociado a una vasta comunidad de microorganismos metabólicamente activos, los cuales afectan procesos de gran importancia en la nutrición de las plantas, tales como las bacterias fijadoras de nitrógeno atmosférico que contribuyen a la nutrición nitrogenada de los cultivos (Alvarez, 1992).

Considerando al tepetate como un material biológicamente casi inerte, debido a su constitución y dureza, el manejo más adecuado sería en base a la incorporación constante de materia orgánica y abonos verdes, con la finalidad de determinar cual es la mejor combinación de ellos y poder acelerar la velocidad de formación del suelo (Sánchez, 1987).

En condiciones, como las de un tepetate, la presencia de hongos micorrízicos es nula o muy esporádica. Particularmente en tepetates, en que la dureza es muy alta, el almacenamiento del agua es extremadamente bajo, el pH es moderadamente alto, además de presentarse normalmente en pendientes (Peña, 1987). Aunque Ferrera-Cerrato *et al*, (1996) consideran que los tepetates presentan hongos endomicorrízicos en su flora nativa; además se ha reportado la presencia de hongos micorrízicos nativos infectivos en tepetates recién roturados.

La incorporación de las áreas tepetatosas a la producción agrícola requiere de un elevado ingreso de energía externa. El alto costo que implica mantener el nivel de nutrimentos con base en fertilizantes sintéticos hace necesaria la búsqueda de alternativas en las prácticas de manejo que permitan disminuir la dependencia de insumos sintéticos y aceleren la recuperación de la capacidad productiva de las mismas (Alvarez, 1992).

Los resultados del experimento realizado en 1991, en Santiago Tlalpan, Hueyotlipan, Tlaxcala (cerca de nuestra parcela experimental), demostraron que en el tepetate sin roturar se encontró una escasa comunidad microbiana (bacterias, actinomicetos y hongos totales), la cual se incrementó posterior a la roturación y a la incorporación de estiércol de bovino. Las rizosferas de las plantas cultivadas (maíz, frijol, haba y veza) estimularon el crecimiento de las poblaciones de bacterias, actinomicetos y hongos totales, así como de las bacterias rizosféricas fijadoras de nitrógeno

atmosférico. Este efecto rizosférico fue mayor aun en el tepetate con incorporación de estiércol de bovino (Alvarez, 1992; Ferrera-Cerrato *et al.*, 1996).

En diversos estudios se señala la importancia del bajo nivel de materia orgánica como un factor limitante de la capacidad productiva de los tepetates (García, 1961; Etchevers, *et al.*, 1991; Cajuste y Cruz, 1987 a y b), de los beneficios de la incorporación de materiales orgánicos en la estructura y en la actividad biológica del tepetate (Tovar, 1987; Sánchez, *et al.*, 1987), así como el establecimiento de plantaciones forestales (Avila, 1963; Pedraza *et al.*, 1987), nopaleras (Asteinz y Rey, 1987) y zanjas trincheras (Rey, 1987) por su efecto en el control de la erosión y facilitación en la formación del suelo (Alvarez, 1992).

3.2.9. Usos.

La incorporación de los tepetates requiere de conocer sus limitantes: dureza, baja retención de humedad, debido a su porosidad efectiva baja; escasa fertilidad, por la ausencia de materia orgánica y nitrógeno; alta erosionabilidad a pesar de su dureza (Arias, 1991).

Dado su origen los tepetates presentan propiedades muy variables, y son de importancia tanto en el campo de la ingeniería civil, en el cual son utilizados como materiales para la construcción, como en el campo agronómico, dentro del cual representan serias limitantes para su cultivo (Peña y Zebrowski, 1992).

El uso del tepetate en la actividad agrícola es diferente entre los campesinos: unos, el primer año de cultivo usan maíz, otros trigo, otros más haba o frijol; productores que aplican estiércol y los que no lo hacen. Los rendimientos en este primer año, según los propios campesinos, "son bajos" en maíz mientras en trigo "son más elevados" (Márquez, *et al.*, 1991). No existe un manejo en tepetate al cual los campesinos puedan referirse como norma; lo que hay son esfuerzos aislados que han pretendido hacer productivo este duro sustrato; algunos han tenido éxito, otros no tanto; en muchos de los casos tienen que pasar 6-7 años para que un tepetate tienda a ser medianamente productivo. No existe un tepetate "modelo", los hay de varios colores y de características físico-químicas muy específicas; todos estos aspectos ya han sido estudiados y aun se continua; por otro lado estas características son muy bien observadas por los campesinos, quienes han moldeado sus esfuerzos según el tepetate que se trate; más sin embargo no ha habido la posibilidad que los avances científicos sobre este sustrato sean conocidos ampliamente y, mucho menos, que se experimente en el tepetate pero en condiciones que sean las del campesino.

En el centro de la cuenca del Río Texcoco, principalmente entre San Jerónimo Amanalco y Tequesquihuac, muchas áreas han sido habilitadas para su cultivo. En este caso, las parcelas son inicialmente roturadas con maquinaria pesada o bien fragmentadas con pico y pala, y después cultivadas. Durante los primeros ciclos, después de la roturación son cultivadas con cebada, pero posteriormente son utilizadas para el cultivo de maíz y/o frijol. Sin embargo, dichas áreas requieren al menos de 3 años de manejo, entre otros factores para producir buenos rendimientos (Peña y Zebrowski, 1992).

No obstante la cementación, la dureza y los bajos niveles de fertilidad que presentan los tepetates, los campesinos han desarrollado técnicas efectivas y racionales que les permiten hacer un manejo y utilización integral del recurso, para procurar una producción sostenida a largo plazo de sus necesidades alimentarias. En particular, en el caso de Tlaxcala los indígenas adquirieron un profundo conocimiento de su entorno ecológico que derivó en una utilización intensiva de los recursos y prácticas de conservación, probablemente desde 600 años a. de C. (Hernández-X., 1987).

El manejo de los recursos físicos y bióticos para afrontar los factores que limitan la producción en esta región (Hueyotlipan), evolucionó en un complejo sistema de terrazas y cajetes que se conjuntan con una alta diversidad biótica dentro del agroecosistema. Los cajetes consisten en excavaciones o zanjas hechas en la base de las terrazas y de acuerdo a Mountjoy y Gliessman (1988) tienen como función: (1) retener el suelo erosionado, (2) apresar el agua que normalmente no puede ser absorbida y permitir su percolación lenta, (3) contener y canalizar el agua de lluvia y proteger las terrazas de la escorrentía descontrolada, y (4) favorecer el reciclamiento de materiales y nutrimentos dentro del sistema, luego que el material acumulado es regresado a las terrazas (Alvarez, 1992).

Otro de los posibles usos del tepetate es el forestal. También existen experiencias sobre el tema, como la realizada en el pasaje Tequesquihuac-Coatepec. Los resultados obtenidos indicaron en general que para las especies plantadas los mejores desarrollos en altura y diámetro normal se alcanzaron en el tepetate gris, con 2.87 m de altura y 3.19 cm en diámetro normal para todas las especies estudiadas. Los más bajos desarrollos se presentaron en el tipo de tepetate amarillo con 2.52 m de altura y 2.87 cm de diámetro normal para las especies evaluadas. Resultados intermedios fueron para el tepetate rojo, con 2.59 m de altura y 3.00 cm de diámetro normal para las especies plantadas (Pedraza, 1987).

Las especies que mayor desarrollo presentaron, y que se recomiendan para su uso en condiciones similares a la de este estudio son: *Eucaliptus sp*, *Pinus radiata* y *Casuarina sp*.

Las de menor desarrollo fueron: *Cupressus sp* y *Pinus montezumae*.

En el tepetate gris, las mejores especies fueron: *Pinus radiata*, *P. montezumae* y *Eucaliptus sp*.

En tepetate rojo: *Pinus radiata*, *Casuarina sp* y *Eucaliptus sp*.

En tepetate amarillo: *Casuarina sp*.

Para el suelo forestal: *Pinus montezumae* y *Cupressus sp* (Pedraza, 1987).

3.2.10. Experiencias sobre producción y manejo.

3.2.10.1. Roturación. La combinación carbonato-sílice, al menos en el Valle de México, es particularmente dura y difícil de ripear para recuperación. En México, la erosión en suelos con costras carbonato-cementadas es particularmente seria (Nimlos y Ortiz, en prensa), la extensión del problema en el resto de Latinoamérica no ha sido determinada (Nimlos, 1987).

La vertiente oriental del valle de México es una zona con un pasado histórico brillante. El área del Lago de Texcoco es un ejemplo donde el Rey Nezahualcoyotl realizó obras de conservación y mejoramiento de suelos y agua. La erosión, causada por la deforestación y el cambio de uso de suelo, el transporte de sedimentos, la disminución del manto acuífero son algunos de los problemas del área de estudio. Para solucionar esta situación de deterioro, el gobierno federal de México creó el Proyecto Lago de Texcoco, en 1973, el cual atacó esta problemática a través de programas de recuperación y acondicionamiento de suelos, reforestación y otras obras cuyas acciones han dejado beneficios como la incorporación de los tepetates a las actividades forestales y agrícolas, la disminución de la pérdida de suelo, el incremento en la recarga de acuíferos, el control de escurrimientos.

Resultados con base en el Estudio SARH-CNA-Proyecto Lago de Texcoco (1990).

Desde 1973 hasta 1990 fueron: 6,535 has de terraceo-subsoleo; 2,116 has. de zanjas, tinas y cepas; 1,135 presas de control de asolves de diferentes tipos y materiales; 21,000,000 de árboles producidos y 7,856 has reforestadas.

La tasa de pérdida de suelo estimada paso de 16.31 ton/ha/año a 0.261 ton/ha/año. Esto equivale a una reducción actual de un 98% con respecto a 1973 (Llerena y Sánchez, 1992).

De acuerdo a los resultados obtenidos por Ortiz (1989) en la parte media de la cuenca del Río Texcoco, muestran que la tecnología aplicada: terraceo y subsoleo, fue útil para combatir la desertificación por óxidos de silicio y erosión hídrica. Por lo tanto, de 1977 a 1984 hubo recuperación y formación de suelos que benefició a las poblaciones involucradas. Desde un punto de vista financiero estos trabajos resultaron redituables y poco redituables, debido a que fueron realizados por instituciones diferentes. Por lo que se concluye que el costo de recuperación de áreas desertificadas es alto y son inversiones a largo plazo (Ortiz, 1987).

La dureza del tepetate impone limitantes para el desarrollo radical y por ende en la absorción nutrimental y en la producción de las plantas, lo cual aunado a las fuertes pendientes que caracteriza a las áreas tepetatosas erosionadas, hace necesaria la creación de obras de infraestructura y la roturación manual o mecánica del tepetate con elevados costos económicos (Camargo y Guido, 1987; Pedraza 1987; Pimentel, 1987). En adición, el bajo nivel nutrimental especialmente de nitrógeno y fósforo, hace necesaria la aplicación de altas cantidades de fertilizantes sintéticos (García, 1961; Zebrowski, *et al.*, 1989) que promueva el desarrollo y la producción de los cultivos (Alvarez, 1992).

En la parte media de la cuenca del Río Texcoco se dió seguimiento a los trabajos de roturación y su impacto sobre las comunidades campesinas de la zona. Los resultados indican una evidente disminución de zonas tepetatosas por faceta (San Pablo Ixayoc, Huexotla y Tequesquihuac). De 1955 a 1974 la tendencia de la superficie con afloramiento de tepetates fue originada por el manejo que los agricultores dieron a el área (roturación del tepetate con pico e incorporación de MO). Mientras de 1974 a 1984 se iniciaron los trabajos realizados por instituciones gubernamentales, ya que Figueroa (1975) reporta que el 70% de los sedimentos aportados por la cuenca del Río Texcoco provenían de estas áreas. Estos trabajos beneficiaron a los agricultores de la zona con 257 has para la

actividad agrícola de temporal. Además, las pérdidas de suelos de esa zona se redujeron de 5 627 ton/año en 1955, a 2737 ton/año en 1984.

La recuperación de áreas desertificadas implica altos costos e inversiones a largo plazo; es necesario tomar medidas preventivas y no correctivas para combatir dichos procesos de deterioro (Ortiz, 1987).

García (1961), citado por Delgadillo (1989), asegura que la mejor forma de recuperar los tepetates a la producción agrícola es por disgregación física y aplicación de materia orgánica. Esta recuperación se ha realizado de diferentes modos: a través de la reforestación; utilizando cultivos o pastos con altas cantidades de fósforo y sobre todo de materia orgánica. Situaciones, sobre todo esta última, difícil de alcanzar por el campesino. Son urgentes las experiencias que partan de la cultura agrícola de cada región del país, que sean analizadas y mejoradas considerando las posibilidades reales del productor.

Camargo trabajó la roturación y trituración de los tepetates del Valle del Mezquital. En sus investigaciones llega a las siguientes conclusiones: Se ha observado que al roturar el suelo, a una profundidad de 80 cm, emergen grandes bloques de tepetate, que forman una capa dura y quebrada, presentando un obstáculo para el laboreo agrícola, para lo cual es necesario o bien retirar del terreno este material o triturarlo en el terreno, ya sea manual o mecánicamente; la primera forma presenta serios problemas de disponibilidad de mano de obra, por lo que al introducir en 1981 maquinaria especial, para la trituración, se solucionó el problema (Camargo, 1987).

Por lo que se ha planteado como una alternativa de solución a este problema básico en áreas de riego: dos pasos cruzados de tractor oruga tipo catapillar D-8 con riper de 1.00-1.20 mts. de separación y a 80 cm de profundidad y eliminar el producto de esta roturación con tres pasos de trituradora, alternados con un paso sencillo y otro cruzado, de subsuelo agrícola, como auxiliar a este proceso de incorporación de suelos de poco espesor a la producción agrícola (Camargo, 1987).

Se recomienda para el manejo de estos suelos, usar abonos orgánicos en cantidades de 15-20 ton/ha, combinándola con fertilizantes químicos, para obtener resultados óptimos. De acuerdo al censo realizado se han obtenido rendimientos medios en el incremento en maíz del 60% (2.8ton/ha) y de alfalfa de 54% (38.79 ton/ha) (Camargo, 1987).

En la zona de tepetate de la comunidad de Santa Catarina del Monte, ubicada a 14 km al noreste de la ciudad de Texcoco, se distinguen parcelas que han sido trabajadas desde hace más de 40 años, así como parcelas incorporadas recientemente. En un inicio, la incorporación de tepetates a las actividades agrícolas se realizó en forma manual: roturación del material utilizando un pico o pólvora. Hacia la década de los años setenta, con el apoyo de instituciones gubernamentales se roturaron y construyeron terrazas con maquinaria pesada (bulldozers) (Delgadillo, *et al.*, 1992).

Luego de la roturación, el tamaño final de los agregados es importante, ya que las partículas deben ser suficientemente finas para no obstaculizar la emergencia de las plantas, y suficientemente gruesas para evitar la asfixia. Braunak y Dexter (1989) han señalado que el tamaño de los agregados debe

estar comprendido entre 0.5 y 8 mm para que los suelos cuenten con un conjunto de propiedades ideal en lo referente a la capacidad de aireación y la capacidad de retención de agua. Martínez y García (1990) han señalado que, en los tepetates de la región de Texcoco, el tamaño de los agregados debe ser alrededor de 2 mm con el objeto que su capacidad de retención de agua sea máxima y su erodabilidad mínima. Únicamente la regeneración de una estructura mediante el aumento del contenido de materia orgánica permitira evitar la recompactación (Zebrowski, 1992).

En el estado de Tlaxcala existe una empresa paraestatal dedicada a la habilitación de terrenos agrícolas. Esta empresa se llama "Máquinaria para las Tierras del Estado de Tlaxcala" (MATET). Tienen 28-30 máquinas trabajando. Esta empresa funciona sin subsidios; trabaja con números negros (al gobierno del Estado y a particulares cobran 100% del costo; a ejidatarios y pequeños propietarios, el 80%); su planta de personal fue reducida de 165 a 62 trabajadores. De las aproximadamente 34 máquinas "caterpillar", con las que cuentan, hay: D₅. Cobra \$76,000/hora. D₇, \$165,000/hora. D₈, \$265,000/hora (precios de 1991). El tiempo para subsolear es de 4-6 horas/ha; para roturar, de 15 a 40 horas/ha. Han subsoleado aproximadamente 6000 has., de las cuales 900 has son de primera, en tres años (1988-1991). Los representantes de esta Comisión oficial consideran que en un tepetate o área abierta ya no se puede recuperar la inversión (Márquez, 1991).

El gobierno de Tlaxcala creo desde hace tres sexenios el "Programa de rehabilitación de los suelos tepetatosos", programa que ha roturado con maquinaria pesada en los últimos nueve años 12,859 ha. (1,428 ha/año), con una inversión de 4,717,501 pesos/ha (equivalente a 1,536 dls/ha). Lo más extraño es que, en todo el tiempo que lleva este programa, no existe investigación alguna sobre la validez de estas roturaciones. Si valoramos las cosechas obtenidas en los primeros cinco años después de la roturación, tenemos que la inversión económica de la roturación hecha por MATET se recuperaría en 50 años aproximadamente (Werner, 1992).

3.2.10.2. Fertilidad. Se puede afirmar que los ecosistemas de áreas altamente degradadas (tepetates) son improductivos (González, 1984).

El alto costo que implica la creación de grandes obras de infraestructura y el mantenimiento del nivel nutrimental con base en fertilizantes sintéticos, hace necesaria la búsqueda de prácticas de manejo alternativas que permitan disminuir la dependencia de insumos sintéticos, mejoren el contenido de materia orgánica, la actividad microbiana y aceleren el proceso de regeneración de las áreas tepetatosas degradadas con base en la recuperación constante de la capacidad productiva de los mismos (Alvarez, 1992).

Puede indicarse que el efecto priming es el que ocasiona una mayor pérdida de MO al suelo que se le ha proporcionado abonos verdes, comparada con la pérdida de MO en un suelo que no la ha recibido (Sánchez, 1987).

Según experiencias del área de química de suelos del Colegio de Postgraduados, la pobreza de los tepetates es relativa, siendo un factor limitante la fertilidad ya que presentan un bajo contenido de MO y P, siendo ricos en K, Ca, Mg y Na, que estan en mayor cantidad intercambiable y disponible para

las plantas; para minimizar el problema de N y P es necesario la aplicación de abonos orgánicos. Los valores de los oligoelementos intercambiables que se tuvieron después del tratamiento de intemperismo en estufa son aceptables, pero existe el problema del pH, ya que son valores que fluctúan de ligeramente a moderadamente alcalinos, lo cual afecta la disponibilidad de los mismos, debido a que los precipita siendo sus formas iónicas transformadas a hidróxidos u óxidos insolubles (Cajuste y Cruz, 1987).

3.2.10.3. Disponibilidad del agua. La cohesión que produce el ácido silícico, disminuye la infiltración del agua, de manera que estas pueden influir sobre las superficies casi en su totalidad (Werner, 1977). En tepetate tal cual, como sustrato con dureza extrema, la capacidad de retención de humedad es muy baja, por ello en su superficie son contadas las arvences que logran sobrevivir. Para su uso agrícola-pecuario y/o forestal es necesario romper la capa, deshacer los enalaces de los cementantes para disgregar, promover mayor microporosidad, esto para la absorción del agua; para el almacenamiento es necesaria la adición de materia orgánica, una vez roturado el tepetate.

3.2.10.4. Manejo. Es importante señalar que que la práctica de roturación proporciona un sustrato adecuado para el desarrollo de las especies vegetales, pero por sí sólo no asegura la recuperación y conservación del material (Delgadillo, 1992).

En relación al Códice Santa María Asunción, Gibson (1964), hace referencia de las tierras de mala calidad como tepetatl (estrato endurecido) y tequesquintl (tierra salina). Es conveniente aclarar la diferencia entre tepetalli y tepetatl; en la primera se trata de un suelo hecho por el hombre a partir del tepetate (Ortiz y Gutierrez, 1993).

El laboreo y la fertilización de los tepetates existen desde tiempos prehispánicos (Willians, 1972) a través del relleno con suelo fértil, o preparando el terreno con el rompimiento de la costra superior y la pulverización de los terrones, tlaluitectli, y la fertilización a través de la quema de hojas de maguey y su incorporación al suelo.

Estas técnicas, que aún se usan, han sido complementadas con el uso de maquinaria pesada para subsoleo o terraceo, e incluso la remodelación del paisaje usando pequeñas descargas de pólvora (comunicación personal, Ing. Jesús González Ríos. Colegio de Postgraduados) (Arias, 1992).

Siempre llamó la atención el conocimiento que tenía la gente (de Tlaxcala) sobre el tepetate. Quiero recordar que la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos tuvo un campo experimental ahí en Atlahuetzia para estudiar el tepetate con relación al control de la erosión. Después de cuatro años dijeron que ya habían descubierto la forma de transformar el tepetate y hacerlo agrícola nuevamente (Hernández X., 1987).

Los que conocían como manejar el tepetate eran los Tlaxcaltecas, hace ya más de 100 años; ellos sabían como convertir esas tierras de tepetate a tierra agrícola y ello constituía fundamentalmente en quebrarlos durante la época de lluvias que es cuando el tepetate esta suave y en el siguiente ciclo sembrarlo con haba y ayocote, es decir abonos verdes, si se puede conseguir abono del establo es

mejor, entonces para el segundo año se podría sembrar maíz; eso lo hacían rutinariamente la gente en Tlaxcala (Hernández X., 1987).

Además de las prácticas de roturación, los habitantes de Santa Catarina del Monte, Texcoco, abonan las terrazas con pajas, estiércoles, lama, aserrín, abonos verdes y/o residuos orgánicos. Después realizan una labranza convencional y durante los primeros años siembran cultivos como cebada, trigo o avena; en las orillas se plantan magueyes, nopales y árboles frutales y/o se coloca un muro de piedra que sirve para detener azolves y evitar deslaves (Delgadillo, 1992).

3.2.11. Experiencias de investigación.

A pesar que estos suelos han despertado el interés de los investigadores desde hace largo tiempo -Wolf (1896) y posteriormente Sauer (1947) descubrieron la Cangahua en Ecuador- su estudio todavía es limitado y aún quedan numerosos problemas por resolver (Zebrowski, 1992). Las particularidades de los horizontes volcánicos endurecidos han llamado la atención; en tiempos recientes este interés ha sido renovado, en parte por la presión por contar con nuevas tierras de labor y la preocupación por la degradación del medio ambiente, pero también por la ausencia de respuestas conclusivas a interrogantes de carácter netamente científico, como son: cuál es su verdadero origen, cuál es la naturaleza de sus agentes cementantes, cómo están evolucionando y cuál es la problemática de su recuperación (Etchevers, 1992).

En la cuenca del Río Texcoco, Rey Contreras instaló una serie de parcelas de escurrimiento con la finalidad de estimar la erodabilidad de los tepetates de la zona. Los resultados obtenidos reportan que el más alto valor del factor de erodabilidad se presentó en el tepetate gris, siguiéndole el rojo y por último el amarillo. Con 75% de probabilidad se puede asegurar que hay diferencias entre las pérdidas de tepetates gris y amarillo; entre el rojo y el gris con una probabilidad del 75% no hay diferencias; así como entre el tepetate amarillo y el rojo (Rey, 1987).

Otra causa que nos ayuda a explicar las altas pérdidas de este tepetate es el muy bajo contenido de M.O. (0.27%) que para nada contribuyen a la estabilidad de los agregados, ya que según Baver (1963), cuando se presentan buenos contenidos de M.O. la formación de agregados estables al agua muestran una correlación del 5% (Baver, 1963).

Un factor importante a analizar en la pérdida del tepetate gris es la permeabilidad, que en nuestro caso es muy lenta, lo cual permite que los escurrimientos sean erosivos (Rey, 1987).

Sánchez (1987), observando las diferencias de comportamiento a la adición de abono orgánico y abono verde, con diferentes tepetates en condiciones de invernadero, determinó los siguientes resultados: pH de 8.8 y de 7.9 para los tepetates rojo y blanco respectivamente, de textura franco arenosa, con mayor capacidad de retención de humedad para el tepetate rojo. La población de actinomicetos para el tepetate rojo fue de $2.12 \cdot 10^3/g$ y de $1.33 \cdot 10^3/g$ para el blanco; la población de hongos fue de $1.77 \cdot 10^2/g$ y de $5 \cdot 10^2$, para el tepetate blanco y rojo respectivamente. Respecto a las bacterias estas fueron de $3.2 \cdot 10^3/g$ para el rojo y de $5.1 \cdot 10^2/g$ para el tepetate blanco.

En lo referente a la incorporación de abonos verdes se determinó la relación carbono-nitrógeno y se observó que los valores mayores corresponden a los tratamientos tepetate rojo-veza-gallinaza-con inoculación, tepetate rojo-alfalfa-vacuno-sin inoculación y tepetate blanco-veza-gallinaza-con inoculación, con valores medios de C/N de 32.07, 32.78 y 30.2; los valores menores de C/N corresponden a los tratamientos tepetate rojo-alfalfa-sin estiércol-sin inóculo, tepetate rojo-alfalfa-gallinaza-con inoculación y tepetate blanco-alfalfa-vacuno-sin inoculación y son de 17.7, 18.11 y 26.6 respectivamente. El tepetate rojo presentó menor dureza que el blanco; el rojo presenta una mayor capacidad de retención de humedad. Las bacterias y los hongos se desarrollan más favorablemente en el tepetate rojo, y los actinomicetos en el tepetate blanco. El mejor tratamiento fue el tepetate rojo sembrado con veza e inoculado (Sánchez, 1987).

El establecimiento de plantaciones forestales con coníferas en tepetates, se ha efectuado en cepa común gradoni, y utilizando maquinaria para ripeo, usando especies exóticas y nativas tanto de angiospermas como de gimnospermas; muchas de estas plantaciones se han replantado varios años por las fallas en cuanto a las técnicas empleadas (Peña, 1987).

Otra de las experiencias que exploró el potencial biológico del tepetate, fue el realizado por Alvarez (1991) en Santiago Tlalpan, Hueyotlipan, al lado donde nosotros establecimos nuestro experimento. Utilizó la asociación maíz-frijol-haba como policultivo y la veza como cultivo para rotación, inoculadas o no con bacterias fijadoras de nitrógeno atmosférico (*Rhizobium* y *Azospirillum*) y la endomicorriza V-A (*Glomus sp*) con o sin incorporación de materia orgánica (estiércol de bovino: 40 ton/ha). Al término del ciclo de cultivo se incorporó la veza y los rastrojos del policultivo y se analizó su efecto en la actividad metabólica de la microbiota del tepetate.

Los resultados demostraron que en el tepetate sin roturar se encontró una escasa comunidad microbiana (bacterias, actinomicetos y hongos totales), la cual se incrementó posterior a la roturación y a la incorporación de estiércol de bovino. Las rizosferas de las plantas cultivadas (maíz, frijol, haba y veza) estimularon el crecimiento de las poblaciones de bacterias, actinomicetos y hongos totales, así como de las bacterias rizosféricas fijadoras de nitrógeno atmosférico. Este efecto rizosférico fue mayor aun en el tepetate con incorporación de estiércol de bovino. Los microsimbiontes fijadores del nitrógeno atmosférico introducidos (*Rhizobium leguminosarum bv. y phaseoli*, *Azospirillum sp.*) presentaron un establecimiento temprano en la rizosfera de sus respectivos macrosimbiontes (frijol y maíz), sin embargo posteriormente declinaron y ambos presentaron bajos porcentajes de infección.

La introducción de los microsimbiontes fijadores del nitrógeno atmosférico no tuvo efecto en la producción de biomasa fresca y seca de la veza ni en el rendimiento de grano del policultivo. Sin embargo, la introducción del estiércol de bovino sí afectó favorablemente ambas variables.

Las prácticas de manejo agroecológico (incorporación de estiércol de bovino, uso de policultivo y cultivo de rotación e incorporación de rastrojos y de la veza) tuvieron un efecto benéfico en la actividad metabólica de la microbiota en el tepetate, que se reflejó en una mayor producción de CO₂ y una tasa más alta de mineralización del N. Los residuos de la veza (con y sin previa incorporación de

estiércol de bovino) fueron más efectivos que los rastros del policultivo para estimular la actividad metabólica en el tepetate (Alvarez, 1991).

La respuesta a la incorporación del estiércol de bovino reflejada en el mayor rendimiento de grano del policultivo y en la producción de biomasa fresca y materia seca de la veza, así como la mayoría de las variables evaluadas y discutidas, muestran la importancia que el bajo nivel de materia orgánica tiene como un factor limitante en la capacidad productiva del tepetate. Otras investigaciones (Tovar, 1987; Sánchez, *et al.*, 1987; Ruiz y Torres, 1991) han encontrado también una respuesta positiva a la incorporación de materia orgánica en el tepetate (Alvarez, 1991).

La respuesta positiva a la incorporación del estiércol de bovino puede estar relacionada con diversos factores que repercutieron directamente en una mejora de las características físicas, químicas y biológicas del tepetate. De acuerdo con Lynch y Bragg (1985) y Fortum (1989) la materia orgánica influye en el nivel de aireación, en la estructuración y retención de humedad, en la resistencia a la erosión; también tiene un efecto a nivel de la raíz de las plantas, en la capacidad de intercambio catiónico y aniónico, en la regulación del pH y como aporte de nutrimentos para las plantas (Alvarez, 1991).

Estrada y Rivera (1991) al trabajar con monocultivos de maíz, frijol común y frijol ayocote en un tepetate gris de un año de roturación, no observaron producción de grano del maíz aun cuando se aplicó fertilizante y la producción de forraje verde fue estimada en 6.8 t/ha; el frijol común produjo 27 kg/ha de grano sin fertilizar, y 363 kg/ha de grano con fertilizante (40-40-00) (Alvarez, 1991).

En el trabajo de Alvarez, 1991, resultó interesante observar que aun en el tepetate sin incorporación de estiércol, las tres especies del policultivo produjeron semilla, lo que evidencia la importancia del establecimiento de cultivos múltiples. De las tres especies fue el haba el que presentó la mayor producción de grano, lo que indica una mayor adaptación de esta especie a las condiciones del tepetate. Esto puede estar relacionado con la mayor capacidad de exploración del sustrato por sus raíces profusamente ramificadas, por la mayor nodulación y actividad nitrogenasa y por la mayor estimulación del crecimiento de bacterias rizosféricas. Estas características ubican al cultivo del haba, en asociación, como un candidato idóneo en programas de recuperación de tepetates. Lo que viene a validar el manejo tradicional que los productores realizan para conservar y mejorar la fertilidad en los suelos tepetatosos de Tlaxcala reportado por Altieri y Yurjevic (1990) y Mountjoy y Gliessman (1988) (Alvarez, 1991).

Las ventajas del cultivo asociado del haba con otras especies está relacionado con varios factores, entre los cuales se ha reportado: a) una disminución en la competencia de arvences debido al haba (Sharaiha y Gliessman, 1990), b) un aumento en la fijación biológica del nitrógeno del haba por efecto de la disminución del nitrógeno combinado del suelo por las plantas no leguminosas (Danso, *et al.*, 1987), c) el efecto residual del haba, benéfico para los cultivos no leguminosas que siguen en la rotación (Senaratne y Hardarson, 1988) y d) probablemente un mayor índice de tierra equivalente,

similar a lo observado en la asociación maíz-Vigna (Eaglesham, *et al.*, 1981; Allen y Obura, 1983; Ofori, *et al.*, 1987) (Alvarez, 1991).

En 1984, González desarrolló investigación en el ejido de San Pablo Ixayoc, Texcoco, México; en sitios representativos (tepetates y pastos endémicos de la zona), con la finalidad de generar sistemas de manejo que contribuyan a incrementar la capacidad productiva de los pastos nativos, e incorporar a la producción áreas altamente degradadas. Los resultados obtenidos indican que la mayoría de las especies sembradas (32 gramíneas y 10 leguminosas) en un ecosistema de pastizal degradado, tuvieron capacidad para establecerse, desarrollar vegetativamente y reproducirse, durante los tres años de observación, asegurando de esta manera su persistencia (González, 1984).

En la segunda fase de esta investigación (selección de una área altamente degradada (tepetate) para luego de roturarse con maquinaria pesada, sembrar las especies mejor adaptadas en la primera fase, con la finalidad de probarlas con propósito de conservación de suelos y producción de forrajes) se encontró que los pastos Rhodes (*Chloris gayana cv. Bells*) y llorón (*Eragrostis curvula cv. Weeping lovegrass*) que fueron las gramíneas evaluadas como conservadoras del suelo y productoras de forraje, mostraron capacidad para establecerse, desarrollar vegetativamente y reproducirse en áreas altamente degradadas (tepetates), previamente roturadas con maquinaria pesada, y mejorados con fertilizante químico y abonos orgánicos. Estas gramíneas mostraron coberturas promedio superiores a 80% durante los dos años de observación, lo cual indica que el suelo estuvo protegido satisfactoriamente contra los agentes erosivos de la lluvia; así mismo, los rendimientos promedio de materia seca de los pastos rhodes y llorón fueron de 3.9 y 3.3 t/ha respectivamente, durante los dos años de observación. Dada la calidad de este forraje, con esta cantidad se pueden mantener de 5 a 6 borregos (más o menos 1Unidad animal -UA-) en una hectárea durante un año (González, 1984).

El maíz sembrado sobre los pastos rhodes y llorón sin uso de herbicida, no desarrollo vegetativamente, observándose que este cultivo no tuvo capacidad para producir forraje y grano. El maíz sembrado sobre la pradera preestablecida de pasto llorón es un sistema que no permite el manejo de las actividades agrícola y ganadera en una misma área, debido a que este pasto resultó considerablemente susceptible a los efectos del herbicida, lo cual estuvo fuertemente relacionado con su hábito de crecimiento. También se encontró que el maíz sembrado sobre las praderas preestablecidas de pasto rhodes, es un sistema que permite manejar las actividades agrícolas (producción de maíz) y ganadera en una misma área, o sea, que es factible hacer uso más intensivo del recurso suelo, ya que la población de pasto rhodes dañada por la aplicación de herbicida, fue regenerada vegetativamente gracias al hábito de crecimiento rastroso estolonífero que tiene este pasto, observándose una pradera de pasto rhodes de buena calidad, la cual mantuvo protegido satisfactoriamente al suelo contra los agentes erosivos de la lluvia, además, proporcionó un rendimiento de 1.3 t/ha de materia seca. Sumando la producción de materia seca de los cultivos asociados (rhodes+maíz) se tiene una producción conjunta de 7.7 t/ha, con lo cual se puede alimentar 21 borregos (más o menos 4 UA) por hectárea durante 6 meses; muestran que la producción de grano de maíz en la misma área fue de 1.7 t/ha (González, 1984).

En México, de 1988 a 1997 se desarrolló un proyecto de investigación sobre génesis, la caracterización mineralógica y fisico-química, así como de la incorporación agrícola de los tepetates. El proyecto se realizó en dos etapas; en ambas se conjuntaron equipos multidisciplinarios de investigadores de nuestro país, de Francia, Alemania, Chile y Ecuador.

La primera etapa fue de 1988 a 1993. Se inició con la génesis, y la caracterización fisico-química y mineralógica de los tepetates. A partir de 1989 fueron integrados los aspectos socio-económico y agrónomo de la recuperación de tepetates. Entre 1989 y 1990 se realizó el diagnóstico productivo de los tepetates en el ejido de San Pablo Ixayoc, Texcoco, México (antecedentes de la presente tesis); así como en la cabecera municipal de Hueyotlipan a cargo de la estudiante francesa Isabel Gasnier. Por considerarlos importantes para el sustento de esta tesis, se presentaron por separado, y de manera un poco más extensa, la metodología y resultados del diagnóstico productivo realizado en San Pablo Ixayoc, Texcoco, México.

Como parte de esta primer etapa, en 1991 se instrumentó la experimentación agrícola en Santiago Tlalpan, Hueyotlipan, Tlaxcala (es la presente tesis).

En 1992, nuevamente en el área experimental de Tlalpan, se trabajó con unicultivos de trigo y de maíz, además de una parcela de tepetate roturado en la que se probaron maíces de diferente ciclo agrícola (de varios colores). En la terraza en la que se sembró maíz blanco grande en unicultivo, se concluye que el rendimiento y los principales componentes de este maíz se ven influenciados por el manejo que se tenga del tepetate pues la incorporación de materia orgánica y la profundidad de la capa arable, influyen positivamente en las variables contempladas. Además, se considera que la materia orgánica adicionada en 1991 mejoró considerablemente las condiciones naturales del tepetate (cuadro 5) (Benitez, 1993).

Cuadro 5. Rendimientos y componentes en maíz de un tepetate de segundo año.

Bloque	Profundidad	M.O.	Plantas/ -----m ² -----	Mazorcas/ -----m ² -----	Granos/ -----m ² -----	Peso 1 grano mg	Rendimiento grano al 14% -----t/ha-----	Materia seca
I	Baja	No	4.5	3.5	804	275	2.21	5.84
II	Baja	Si	4.9	4.0	1033	293	3.05	6.87
III	Media	Si	4.6	4.1	1105	294	3.13	8.23
IV	Media	No	5.1	4.0	1056	252	2.51	9.19
V	Alta	No	5.5	4.5	1274	244	2.93	10.71
VI	Alta	Si	5.3	5.2	1645	282	4.58	11.87

Fuente: Benitez, 1993.

En la segunda parte del proyecto, a partir de abril de 1993, se continuó con el área experimental de Tlalpan, al tiempo que se abre otra área experimental en la comunidad de San Miguel Tlaixpan, Texcoco, México.

En Santiago Tlalpan, Hueyotlipan, Tlaxcala, se continuó realizando investigación en la misma zona. En 1995, quinto año de experimentación, se aplicó nuevamente materia orgánica: 26.5 t/ha de

estiércol seco. Se evaluó la asociación maíz-haba; de maíz fue el criollo "Cañuela" (de grano blanco, precoz y de buena productividad), de haba se estableció la variedad V-35, genotipo mejorado por ICAMEX.

Los tratamientos fueron:

a) Inoculación. Azospirillum en maíz, Rhizobium en haba. b) Starter. Con fertilización a la siembra de 15-60-00. c) Inoculación + Starter. d) Fertilización. Con la fórmula 110-60-00, en tres aplicaciones. e) Testigo.

En este quinto año se concluye que: se presentó una expresión agroproductiva diferencial en maíz y haba en los diferentes manejos agronómicos evaluados.

La aplicación de materia orgánica en interacción con los diferentes tratamientos influyó de manera positiva en la expresión agroproductiva tanto en maíz como en haba.

El cultivo del maíz mostró una mejor respuesta en el tratamiento de fertilización en sus dos condiciones de materia orgánica.

El cultivo del haba, sometida aun bajo condiciones más restrictivas mostró un potencial productivo en cuanto a producción de grano.

El tepetate a cinco años de uso agrícola no aportó los requerimientos necesarios para la producción de maíz en condiciones de manejo agronómico restrictivo (cuadros 6 y 7) (Flores, 1996).

Cuadro 6. Agroproductividad de maíz asociado con haba, bajo diferente manejo agronómico. Hueyotlipan, Tlaxcala, 1995.

Manejo agronómico	Materia Orgánica	Granos/m ²	Peso de un grano (mg)	Rendimiento de grano (kg/ha)	Materia seca aérea total (kg/ha)	Índice de cosecha
Inoculación	CON	389.93 bc	300 a	1105.11 bc	4785.71 abc	0.2150 bc
	SIN	50.16 c	164 a	106.61 c	1739.55 c	0.0620 c
Starter	CON	640.16 ab	325 a	2181.14 ab	5445.28 ab	0.3892 ab
	SIN	60.94 c	186 a	170.15 c	2253.08 bc	0.0625 c
Inoculación + Starter	CON	775.12 a	324 a	2560.20 a	5960.83 a	0.4158 a
	SIN	113.24 c	202 a	299.12 c	2606.79 bc	0.0770 c
Fertilización	CON	812.84 a	353 a	2848.20 a	7231.67 a	0.3788 ab
	SIN	732.66 a	326 a	2379.27 ab	6832.05 a	0.3359 ab
Testigo	CON	385.75 bc	287 a	1089.96 bc	4376.23 abc	0.2353 abc
	SIN	54.40 c	193 a	158.50 c	2286.32 bc	0.0866 c

Valores unidos con la misma letra son estadísticamente iguales (Tukey, 0.05)

Fuente: Flores, 1996.

En San Miguel Tlaxipan, Texcoco, México, en 1993 se inicio un ciclo de cuatro años, partiendo de un tepetate amarillo de la serie estatigráfica t3 roturado en ese año. En el área experimental de Tlaxipan, además de la evaluación agronómica de varios sistemas de cultivo, se realizaron mediciones

sobre erosión, humedad edáfica, rugosidad de la capa arable y la caracterización pluvio-termométrica en los cuatro años.

Cuadro 7. Producción de grano total de la asociación maíz-haba, bajo diferente manejo agronómico. Hueyotlilpan, Tlaxcala, 1995.

Materia Orgánica	M A N E J O A G R O N O M I C O				
	Inoculación	Starter	Inoculación + starter	Fertilización	Testigo
CON	3009.51 a	3703.83 a	3578.91 a	3701.37 a	2824.01 ab
SIN	429.55 c	928.68 c	1355.74 bc	3134.81 a	1252.34 c

Valores unidos con la misma letra son estadísticamente iguales (Tukey, 0.05)

Fuente: Flores, 1996.

El aspecto agronómico se dividió en: área de erosión y área de sistemas de cultivo. En el área de los sistemas de cultivo o ensayos experimentales se trabajó en tres terrazas (con aplicación de estiércol -T4-, con pendiente casi cero -T5- y la testigo o terraza convencional -T6-), con 9 diferentes sistemas de cultivo cada año. Los resultados indican una tendencia ascendente en los rendimientos por terraza. Las diferencias de rendimiento entre terrazas no son significativas; en '94, la T4 revazó a las otras dos terrazas, y es que en '93, además de la fertilización orgánica también se le aplicó mineral (cuadro 8).

Cuadro 8. Rendimientos comparativos por terraza. S. Miguel Tlaxipan, Texcoco.

Año	-----1993-----		-----1994-----		-----1995-----		-----1996-----	
	Peso seco granos t/ha	Índice cosecha						
Terrazas								
T-4. Prom. medio SC1, 4, 5 y 6.								
Promedio	0,4	0,12	1,7	0,3	1,5	0,24	2,0	0,47
C. de V.(%)	67,6	70,3	18,3	14,2	30,9	49,8	73,0	29,9
T-5. Prom. SC1, 4, 5 y 6.								
Promedio	0,5	0,17	1,9	0,3	1,9	0,26	2,0	0,57
C. de V.(%)	75,7	71,7	27,0	19,5	36,9	44,3	41,0	10,9
T-6. Prom. SC1, 4, 5 y 6.								
Promedio	0,6	0,18	1,5	0,2	1,6	0,26	2,8	0,59
C. de V.(%)	76,5	63,7	31,0	20,4	25,6	29,5	24,1	5,3
Cálculos para análisis comparativo (porcentajes).								
T4	-42,1	-36,2	-7,2	Ref	-21,1	-8,7	-27,0	-19,9
T5	-19,1	-7,2	Ref	-4,0	Ref.	Ref.	-29,3	-2,6
T6	Ref	Ref	-20,3	-17,7	-13,5	-0,7	Ref	Ref

Fuente: Márquez *et al*, 1996.

Otras conclusiones a las que se llegan son: El uso de estiércol sigue demostrando sus bondades, aunque no hay que olvidar la cantidad de semilla de harvences que transporta. Es necesario diseñar rotaciones que con el paso de los años den permanencia a los buenos rendimientos. Y es que, en '93 los mejores sistemas de cultivo fueron el 7, 8 y 9, es decir, las intercalaciones; ahora, en este '96 vemos que son los SC 1, 2 (asociaciones en '93) y 3 (unicultivo en '93) los de mejores resultados. La

cebada continua demostrando su gran capacidad de adaptaci3n a las condiciones marginales del tepetate; si en 1993 tuvimos rendimientos muy buenos, ahora, luego de 3 a1os la cebada sigue mostrandonos que es capaz de desarrollar bien aun con la interacci3n de otras especies inducidas y/o sembradas con anterioridad (Márquez *et al*, 1996).

En la parte de agronomía en las áreas de erosi3n, se considera que: el tepetate es productivo desde su primer a1o de incorporaci3n agrícol a al cultivar cebada asociada con veza (se obtuvieron rendimientos superiores a la media nacional en 1993), aunque es recomendable utilizar otra leguminosa menos agresiva que la veza, una buena opci3n es el *Medicago Polimorfa* (carretilla). Para el segundo a1o de cultivo el rendimiento de maíz es regular y el del haba es excelente; en frijol los nulos rendimientos obtenidos se debieron a mal manejo más que a una respuesta negativa del tepetate. Para el tercer a1o el rendimiento del maíz es excelente y el del haba es regular. En lo que se refiere a la profundidad de roturaci3n, uno de los tratamientos, no se encontraron diferencias significativas si la profundidad rebaza los 40 cm. La asociaci3n gramínea-leguminosa es más efectiva que sus respectivos unicultivos (Baéz, *et al*, 1996).

3.3. LAS ESPECIES UTILIZADAS EN EL EXPERIMENTO: IMPORTANCIA, REQUERIMIENTOS CLIMATICOS, CARACTERISTICAS AGRONOMICAS Y FENOLOGIA.

3.3.1 Importancia.

3.3.1.1. Trigo (*Triticum aestivum*). El trigo es la planta alimenticia de más extenso cultivo en el mundo, y contribuye en mayor proporci3n que ningún otro alimento a suministrar calorías y proteínas al hombre. Las cantidades de trigo que pasan al mercado mundial son mayores que las de todos los demás cereales juntos; probablemente el cultivo del trigo contribuyó a la transici3n del hombre: de cazador y buscador de alimentos a agricultor. El trigo y el centeno son los únicos cereales de importancia económica que contienen los complejos proteícos que forma gluten cuando se mezclan con el agua. La matriz elástica del gluten forma la estructura de la masa y retiene las burbujas encubiertas de aire y anhídrido carb3nico; puede considerarse que el pan fermentado es primordialmente un producto del trigo (Aykroyd y Doughty, 1970).

Desde hace aproximadamante 9000 a1os, el trigo se cultivaba en la regi3n del Cáucaso, en Turquía e Irán. El trigo es un cultivo que se extiende ampliamente en muchas partes del mundo, quiz a por ser una especie que tiene un amplio rango de adaptaci3n y por su gran consumo en muchos países (Robles, 1983).

Los cari3psides contienen 14% de agua, 70% de glúcidos, 1 a 2% de grasas, 1 a 2% de celulosa y de 1 a 2% de cenizas. El endospermo, parte central y harinosa del cari3pside, está compuesto por una capa aleur3nica rica en proteínas y sales minerales, y de un "parénquima" amiláceo rico en almid3n y una sustancia proteínica, el glúten. Las diferentes especies de trigo se utilizan ya sea para la preparaci3n de pan o para la fabricaci3n de pastas y galletas.

El trigo es perfectamente comparable con otros cereales por su contenido de nutrientes. En el trigo duro hay más proteínas que ningún otro cereal, a excepción de la avena. En general el trigo tiene un elevado contenido de tiamina y niacina. Al igual que otros cereales es pobre en riboflavina y también en calcio; contiene poca grasa, caso toda ella en el embrión y carece de vitamina A; em germen de trigo es rico en vitamina E. Es erróneo llamar al trigo, que tiene un contenido proteico del 10 al 14%, alimento amiláceo, lo que da a entender que es sólo una fuente de hidratos de carbono (Aykroyd y Doughty, 1970).

3.3.1.2. Maíz (*Zea mays*). “A tiempo que sucedía esto faltaba poco para que el sol, la luna y las estrellas aparecieran en el cielo. De lugares ocultos, cuyos nombres se dicen en las crónicas, bajaron, hasta los sitios propicios, el Gato, la Zorra, el Loro, la Cotorra y el Cuervo. Estos animales trajeron la noticia de que las mazorcas de maíz amarillo, morado y blanco, estaban crecidas y maduras. Por estos animales fue descubierta el agua que sería metida en las hebras de la carne de los nuevos seres. Pero los dioses la metieron primero en los granos de aquellas mazorcas. Cuando todo lo que se dice fue revelado, fueron desgranadas las mazorcas, y con los granos sueltos, deleídos en agua de lluvia serenada, hicieron las bebidas necesarias para la creación y para la prolongación de la vida de los nuevos seres. Entonces los dioses labraron la naturaleza de dichos seres. Con la masa amarilla y la masa blanca formaron y moldearon la carne del tronco, de los brazos y de las piernas...” (Abreu, 1983). El maíz, según la mitología Azteca, es un alimento proveniente de los dioses y, por tanto, sagrado; se origina en TAMAUANCHAN -“de la morada de la cual se desciende”-, el sitio de los dioses más antiguos, es decir, la patria mítica del maíz y de las primeras tribus -que por lo regular se piensa originaria en el occidente- pero que según la mitología antigua, se atribuye al cielo nocturno y a su opuesto el mundo infernal; del cual ascienden los primeros hombres como las plantas del maíz, igualando ambos a las estrellas -Krieger-Berg, 1972- (Werner, 1986). Nuestras culturas originarias tienen al maíz como uno de los alimentos sagrados; en casi todas las leyendas sobre el origen de nuestros pueblos el maíz destaca; es una de las especies situada entre lo real y lo divino. La deidad femenina Zenteotl siempre nos ha acompañado. Hoy por hoy es el alimento que no falta a diario en la gran mayoría de los hogares mexicanos.

Por el año 3 500 antes de Cristo, los ancestros de los mexicanos estaban cultivando ya la mayoría de las variedades que conocemos hoy día, entre las cuales se destacaban por su color los rojos, azules y amarillos, y por sus características morfológicas o culinarias se distinguen los dulces, dentados, palomeros, harinosos etc. Al tiempo de la llegada de Cristóbal Colón a Mesoamérica, se sembraban entre 200 y 300 variedades de maíz (Baodle, 1980). El maíz no sólo fue considerado como un regalo de los dioses, sino como la base de la vida, el corazón y el alma de la humanidad (Díaz y Rachín, 1993). El Museo Nacional de Culturas Populares, publicó un documento en que incluyen 605 formas distintas de cocinar el maíz.

El maíz no se circunscribe a un papel de alimento exclusivamente, pues cada día es más importante como materia prima industrial y como fuente energética. En encuesta realizada en EE.UU. (1975), de

10 000 productos de todo tipo vendidos en los supermercados, 2 400 contenían maíz o fue elaborado con materias primas y materiales en los que intervino el maíz.

En México el principal destino del maíz es para consumo humano, este se realiza sobre todo bajo la forma de tortilla, cuyo consumo "per-capita" se ha estimado en 120 kg/año, lo que significa que cada mexicano en promedio consume 10 tortillas (333 g) al día, comiéndose cinco veces más que el frijol y diez más que el huevo (Díaz y Rachín, 1993).

Todos los tipos de maíz que se producen en México tienen composición bioquímica similar, por lo que prácticamente no presenta variaciones en cuanto a su clase o variedad. Según datos del Instituto Nacional de Nutrición, 100 gr. de maíz suministra 350 calorías; 8.3 gr. de proteínas; 69.6 gr. de carbohidratos; 159 mg. de calcio; 2.3 mg. de hierro y en pequeñas cantidades vitaminas B1 y B2.

Su alto potencial de rendimiento y doble propósito, como grano y forraje, trae como consecuencia que el maíz se siembre en los límites de su adaptabilidad (Obrador, 1994).

3.3.1.3. Frijol (*Phaseolus vulgaris*). Leguminosa sembrada, al igual que el maíz, desde tiempos muy ancestrales. Especie compañera del maíz, con la que ha establecido una relación de mutua ayuda. Actualmente, en las familias campesinas de nuestros territorios, difícilmente llega a faltar esta asociación que es síntesis de cooperación, de desarrollo, de crecimiento.

El frijol es una de las leguminosas más importantes debido a su amplia distribución en los cinco continentes y por ser complemento nutricional indispensable en la dieta alimenticia en Centro y Suramérica. En México se utiliza en casi todas las comidas (Robles, 1983).

El cultivo del frijol es considerado uno de los más antiguos; al parecer era conocido por lo menos unos 5,000 años antes de la era cristiana (Debouk e Hidalgo, 1985).

Después del maíz, el frijol es el cultivo más importante en México por la superficie de siembra, por la actividad económica que genera, y por el volumen de granos producidos por persona.

El frijol ha sido, debido a su menor costo, comparado con la proteína de origen animal, la principal fuente de proteína para el sector rural y urbano de bajos ingresos.

Es uno de los cultivos de primordial importancia económica y social en México. Se cultiva frecuentemente asociado con maíz, y ambos, son componentes de la dieta diaria de gran parte de nuestra población. En dicha dieta diaria, el maíz proporciona la mayor parte de los carbohidratos, y el frijol, la mayor parte de las proteínas (Escalante y Kohashi, 1993).

No obstante esta importancia, aún existen algunos problemas que están limitando a la producción, como la deficiencia de humedad, la ocurrencia de lluvias durante la cosecha, y otros (Lepiz, 1982).

El frijol, junto con el maíz constituyen en el país la base de la alimentación del pueblo mexicano, de ahí el interés de superar los bajos niveles de producción, principalmente en el caso de la segunda especie cuyo consumo per-cápita es de 19.5 kg (Roberto, 1982), considerado bastante bajo (Castillo, *et al*, 1988).

3.3.1.4. Haba (*Vicia faba*). Considerando el aspecto nutricional del haba, resalta otra ventaja más como un cultivo de invierno. El contenido de proteína es de 8.4%, como verdura, a 22.0% en semilla, contenido de esta última proporción con 6.65% de lisina y 0.94% de triptófano, esenciales para el organismo humano (Hernández, 1983).

Esta leguminosa que en nuestro país la usamos básicamente para consumo humano, en otros regiones del mundo, independientemente de usarla para alimento humano sirve de fuente proteínica para el ganado como forraje y hasta como abono verde.

Dicho cultivo está familiarizado con los productores de bajos recursos porque requiere pocas inversiones. En forma general constituye una fuente extra de ingresos económicos como segundo cultivo ya que se siembra asociado con maíz, como primer cultivo, donde la producción se utiliza para el autoconsumo y los excedentes se envían a la Ciudad de México.

Aunque en los últimos años no ha habido déficits en la demanda nacional, este se debe al bajo consumo per capita, que es de 79 kg./año desaprovechándose una excelente fuente de proteína vegetal. No obstante, tampoco hay grandes excedentes para exportación, debido a que no ha buscado un mercado internacional en países que tiene un consumo humano elevado.

3.3.1.5. Veza (*Vicia villosa*). Las vezas son originarias de Europa y las partes adyacentes de Asia y Africa. Se encuentran ampliamente distribuidas en las áreas templadas del mundo (Gómez, 1987).

Planta herbacea de hábitos semitrepadores; la veza de invierno es un cultivo forrajero de clima templado-frio; en las zonas donde los forrajes naturales permanecen improductivos durante el invierno y la primavera, la veza proporciona una cobertura vegetal, que evita la erosión; además proporciona forraje fresco y abundante, de gran valor nutricional en las épocas de escasez para el ganado; también es importante como mejorador de suelos al aplicarlo como abono verde (Gómez, 1987).

Se considera que las vezas son leguminosas forrajeras con un elevado contenido de proteínas, alto rendimiento de materia seca por hectárea, que puede ser ensilado u ocasionalmente henificado; si se asocia con cereales de grano pequeño (avena, cebada, centeno) aumenta su valor nutritivo y se incrementa el rendimiento del forraje (Gómez, 1987). Se puede utilizar también como cobertura en los huertos familiares y bosques.

De acuerdo al análisis bromatológico de veza en estado vegetativo, realizado por Maldonado y Morfín (1987), se tiene que el 24.4% es de proteína cruda, el 33.4% es extracto libre de nitrógeno (Gómez, 1987).

Tal vez la mayor utilidad del cultivo sea como abono verde. El grano de veza se usa mucho en la alimentación de aves y como componente de los suplementos alimenticios para ganado (Gómez, 1987).

3.3.2. Requerimientos climáticos.

3.3.2.1. Trigo. Las temperaturas mejores para una buena producción de trigo oscilan entre los 10 y 25°C; a mayor duración del día se acelera la floración; las variedades mejoradas de trigo significan poco si no se cultivan en suelos debidamente fertilizados (Robles, 1983). El trigo tiene su cero de vegetación, o sea, la temperatura por debajo de la cual cesa su crecimiento, a los 0°C (Diehl, 1985). La temperatura mínima de desarrollo de la planta de trigo es de lo 2 a los 4°C, la óptima va de 25 a 31°C y las máximas, sin existencia de humedad, es de 31 a 43°C (Parsons, 1982).

Las zonas aptas para la producción de trigo en los Valles Altos se encuentran comprendidas en altitudes que oscilan de 2000 a 2800 msnm, con suelos ligeramente accidentados y pp que van de 300 a 800 mm.

La exigencia de agua particularmente elevadas durante los quince días que preceden a la floración y los diez días luego de ésta. En la maduración del fruto se da otro período crítico que condiciona el fenómeno del asurado (Diehl, 1985).

Las condiciones ambientales efectan la calidad del grano en cuanto a su textura y al porcentaje de proteína y almidón. Las temperaturas extremas durante el desarrollo de la planta resultan en granos con menos proteína; la alta humedad en la formación de granos, favorece la formación de éstos con un alto contenido de almidón. Las temperaturas altas con sequías, durante la formación del grano, favorece granos duros, de tamaño reducido y con un alto porcentaje de proteína (Parsons, 1982).

3.3.2.2. Maíz. La gran diversidad de tipos, razas y nuevas variedades de maíz que actualmente existen en México, permite que haya maíces adaptados prácticamente a todas las condiciones que se puedan presentar en el país.

Durante su ciclo agrícola del desarrollo, el maíz requiere temperaturas altas durante el día y frescas en la noche. El cultivo tiene problemas cuando la temperatura promedio es inferior a 18.9°C durante el día y 12.8°C durante la noche (Reyes, 1990).(Obrador, 1994). El límite inferior para su crecimiento está entre 10° y 12°C. El límite superior más favorable para el crecimiento depende de la humedad disponible, aunque cuando ésta es abundante, el maíz crecerá bien a temperaturas arriba de 35°C en cambio, cuando la humedad es escasa, las bajas temperaturas ayudan a la planta a tolerar la tensión de la humedad.

Temperaturas menores a 10°C retardan o inhiben la germinación; en general la temperatura media óptima durante el ciclo vegetativo del maíz , es de 25 a 30°C; temperaturas medias máximas de 40°C son perjudiciales, en especial para el periodo de polinización en regiones con alta humedad relativa (Robles, 1983). El cero de desarrollo vegetativo para el maíz son los 9°C.

El maíz requiere una estación de crecimiento larga y es más sensible al clima que otros cereales. El estrés de temperatura y humedad durante etapas críticas puede provocar reducciones severas en el rendimiento. Freere *et al.*, (1981), Doorembos y Kassam (1979), Parsons (1981) y Robles (1983), citados por Arteaga (1988), consignan que bajo condiciones de temporal y con pp de 500 a 800 mm

distribuidos durante el ciclo de cultivo puede obtenerse una buena producción, siendo la cantidad de 300 mm el mínimo para obtener rendimiento, aunque este sufre una brusca caída al acercarse a esa cantidad. Al respecto, Llanos (1984) menciona que las necesidades de agua consideradas normales para el cultivo son de aproximadamente 600 mm (Obrador, 1994; Robles, 1983). Otros autores consideran que las necesidades de agua del cultivo en condiciones óptimas son de 800 a 1200 mm. durante su ciclo vegetativo, según estos mismos autores las necesidades de evapotranspiración en el cultivo de maíz varían de 400 a 800 mm.

El exceso de humedad también disminuye el rendimiento de maíz, notándose de forma directa a través de la disminución de N por la creación de condiciones anaeróbicas y de forma indirecta al retardar el ciclo del cultivo (Shaw, 1977) citado por Obrador, 1994.

Martínez (1985), señala que el maíz consume bajas cantidades de agua en las etapas iniciales de crecimiento alcanzando su máximo valor en el período de floración femenina (Obrador, 1994).

3.3.2.3. Frijol. La planta de frijol es intensamente cultivada desde el trópico hasta las zonas templadas, aunque es una especie termófila, es decir, que no soporta heladas, se cultiva esencialmente para obtener las semillas (Debouck e Hidalgo, 1985).

Entre los factores ambientales que más influyen en la producción de frijol, están: la temperatura, la precipitación, la humedad del suelo, la altitud así como variables del suelo entre otros (Castillo, *et al.*, 1988).

3.3.2.4. Haba. Esta especie se desarrolla mejor entre los 18 y 25°C de temperatura; entre los 500 y 600 mm de precipitaciones pluviales.

Nadi (1970) encontró que los más altos rendimientos de haba se debieron a los incrementos en los denominados componentes de rendimiento vainas por planta y peso de la semilla, como resultado de una alta eficiencia en la utilización de agua, enfatizando la importancia del régimen de humedad durante la aparición de los primeros brotes de yemas florales para la apertura más temprana de las flores.

Como muchas especies cultivadas, en el haba existen evidencias de que la disponibilidad de agua está relacionada con el rendimiento (Salih y Ageeb, 1984), sin embargo esta especie no requiere de mucha humedad edáfica por su susceptibilidad a una serie de patógenos que atacan el sistema radical, lo que hace suponer que existe un nivel óptimo de humedad en el suelo.

Varias leguminosas de grano requieren del máximo de humedad en el momento de la formación de las vainas (Diehl, 1985).

3.3.2.5. Veza. La veza vellosa resiste temperaturas inferiores a los 0°C; sólo sufre daños cuando el suelo se helaba muy intensamente (Hughes, 1984 *et al.*, citados por Gómez, 1987). Según Sánchez, la veza vellosa crece bien en los Valles de México y Toluca, en el Bajío crece mejor cuando prevalece una temperatura templada (Gómez, 1987).

Czapicu'ska (1968) indica que la veza invernal es poco sensible a las adversas condiciones climáticas.

Mateo (citado por Cervantes y Cervantes, 1988) señala que una vez dañadas las veces por el frío intenso estas pueden rebrotar intensamente al elevarse la temperatura sobre todo si se han segado al raz del suelo las plantas muertas.

Las veces requieren una precipitación media anual de 400 mm como mínimo; a pp menores el cultivo puede verse afectado en su producción (Gómez, 1987). Aunque Hycka (1965) informa que la veza no tolera el exceso de sequía; menciona que el límite inferior de precipitación total anual que requiere es de 450 mm. Sin embargo tampoco tolera es exceso de humedad, por su caracter de rastrero.

3.3.3. Características agronómicas.

3.3.3.1. Trigo. La siembra en las regiones trigueras de nuestro país se pueden dividir en dos: a) A finales del otoño y principios del invierno (primera quincena de noviembre a fines de enero), para el norte y noroeste del país; b) En el verano (fines de mayo a fines de junio), para los Valles altos las siembras tardías generalmente están expuestas a temperaturas más altas durante su desarrollo vegetativo, esto puede causar desarrollo más rápido y poco amacollamiento, lo cual ocasiona rendimientos bajos. En general las variedades precoces tienden a macollar menos que las tardías. En suelos de baja fertilidad y sin abonar, se deberá usar menos semilla que cuando el suelo está bien fertilizado; la densidad deberá aumentar si el suelo está mal preparado, si la semilla tiene bajo porcentaje de germinación o si la siembra es tardía. Las densidades en general pueden variar de 60 a 140 kg/ha de semilla (Robles, 1983).

El trigo es una planta herbácea anual. Los trigos semi-enanos, de 50 a 70 cm, son los más convenientes comercialmente; emite brotes que dan lugar a otros tallos (macollos), la cantidad de estos varían según el clima, variedad, suelo, generalmente de dos a siete (4).

La variedad de temporal utilizada fue la Zacatecas. Esta variedad de Trigo (Zacatecas VT-74), fue liberada en 1974, junto a otras tres más (Cleopatra VS-74, Chapingo VF-74 y Narro VF-74). Estas variedades son producto de un programa de mejoramiento genético del trigo para temporal en la región de los Valles altos, iniciado en 1970. Las características que tienen estas variedades son: tolerancia a la sequía, precocidad, amplia adaptación y resistencia a enfermedades. En la actualidad Zacatecas VT-74 se cultiva con éxito en diversas áreas de los Valles Altos de los Estados de Tlaxcala, Hidalgo, Puebla y México.

Según López (1984), de 81 variedades de trigo liberadas de 1940 a 1982, los resultados obtenidos para la variedad Zacatecas VF-74 establecida en tres ambientes diferentes A1: Montecillo, México, P-V 1982, con 316 mm de pp; A2: Tecamac, México, P-V 1982, con 374 mm de pp; A3: Montecillo, México, O-I, 1982-1983, con riego) (cuadro 9).

En Santiago Tlalpan, Hueyotlipan, Tlaxcala, se tienen las siguientes recomendaciones para trigo: Se puede sembrar de mayo hasta el 15 de junio. Su ciclo agrícola es de 4.5 meses, o sea, igual que el maíz. En 1990 el productor utilizó una densidad de siembra de 110-120 kg/ha; se melgúa de 10-12 m (con yunta); fertilizó con 2 bultos de urea y 1 bulto de 18-46-00, luego de 1.5-2 meses después aplicó un bulto de urea más/ha (Bautista, 1991).

Cuadro 9. Comportamiento del trigo en tres localidades.

Variedad	A 1	A 2	A 3	A 1	A 2	A 3	A 1	A 2	A 3	A 1	A 2	A 3
	DF	DF	DF	RB	RB	RB	RE	RE	RE	IC	IC	IC
Zacatecas VF-74	61	59	115	18098	9104	14153	5917	2042	2843	0.353	0.229	0.200

DF=Días a floración. RB=Rto. biológico. RE=Rto. económico. IC=Índice de cosecha

Fuente: López, 1984

3.3.3.2. Maíz. Es una especie vegetal con hábito de crecimiento anual, de ciclo vegetativo que va de los 80 a los 200 días desde la siembra hasta la cosecha; en general las variedades de mayor rendimiento son las de 100 a 140 días (Robles, 1983).

La densidad de siembra promedio para la meseta central de México es de 12 a 15 kg/ha, para grano; y de 20 kg/ha para maíz de forraje (Robles, 1983).

En Santiago Tlalpan, Hueyotlipan, Tlaxcala, se tienen las siguientes recomendaciones prácticas para el maíz: Ciclo de cultivo, maíz precoz, de 4 a 4.5 meses (mayo a septiembre); maíz tardío, de 5 a 6.5 meses (marzo a octubre). Se puede sembrar todo mayo. El productor usa una densidad de 20 a 25 kg/ha de semilla (en maíz precoz); distancia de 80-90 cm entre surcos, y 40 cm entre matas; fertilizó con dos costales de urea y uno de 18-46-00; en la segunda labor aplicó otros 3-4 costales de urea (Bautista, 1991).

3.3.3.3. Frijol. Especie altamente polimorfica, anual, de hábito determinado o indeterminado. Por lo general las siembras de temporal se inician al empezar el período de lluvias en cada localidad, aunque existen zonas donde se hacen antes o después que se normalicen las lluvias.

La cantidad de semilla que se debe sembrar en una hectárea va de 45 a 60 kg (variedades de mata), de 30 a 40 kg (variedades de semiguia corta, por ser semilla más pequeña que las de "mata"); y de 45 a 50 kg (variedades de semiguia) (Robles, 1983).

Se estima que más del 50% de la superficie sembrada en los estados de la Mesa Central es en asociación con maíz y el resto es en unicultivo. En ambos sistemas se utilizan variedades de tipo indeterminado, postradas, de guía corta o semivoluble. En asociación se recomienda sembrar el frijol al tiempo que el maíz; puede ser junto al maíz o entre las matas de este.

En nuestro país se cultiva el frijol en monocultivo o bien en asociación, sistema de producción que se considera de los más eficientes en captación y transformación de luz en materia seca (Molina, *et al*, 1988).

La mayoría de los productores utilizan variedades regionales, bajas densidades de población y niveles bajos de fertilización y hacen escaso o nulo control de plagas. Estas variedades son susceptibles a las enfermedades como roya y antracnosis, que llegan a abatir los rendimientos hasta en un 50% (Lepiz, 1982).

Los principales criterios que consideran tanto el técnico como el productor para la selección de variedades de frijol son hábitos de crecimiento, clima y el sistema de producción (Solorzano, 1982). Las variedades de frijol de mata generalmente son las más precoces (Juárez, 1977), en la actualidad se cultivan más que las de guía, sin embargo en algunas regiones temporales del país las de guía son mejores que las de mata (Castillo, *et al*, 1988).

Los valores de Índice de Cosecha para el frijol normalmente están en un rango de 0.5 a 0.6.

Algunas características del frijol en En Santiago Tlalpan, Hueyotlipán, Tlaxcala, son: Ciclo de 3.5 meses. El productor usó 7 kg de semilla en algo así como 900 m²: fueron 13 surcos con 90 cm entre surcos y 40 cm entre matas. No aplicó fertilizante; obtuvo 40 kg de grano (densidad de siembra de aprox. 78 kg/ha, rendimiento de 0.44t/ha). Se puede sembrar del 1 al 30 de mayo. El frijol "ojo de liebre" tiene un ciclo de 3.5 meses; el frijol "moradito", de 5.5 meses (Bautista, 1991).

3.3.3.4. Haba. Crispin, *et al.*, (1978) mencionan que la época de siembra del haba en la mayoría de las áreas de los Valles Altos está determinada por la disponibilidad de humedad en el suelo. Estos mismos autores recomiendan para siembras solas de haba en los Valles altos, una densidad de siembra de 45-50 kg/ha de semilla, con lo cual se obtiene una población aproximada de 50 mil plantas/ha (Solorzano, 1980).

Para el caso de haba asociada con maíz comúnmente se siembra la variedad criolla de la región; dos semillas por golpe cada 70 cm. intercalándolos con los golpes del maíz. La densidad de siembra es de 30 a 35 kg/ha para obtener una población aproximada de 35 mil plantas/ha.

Rowlans (1955) indica que los componentes primarios del rendimiento en haba son: número de vainas/planta, semillas/vaina y el tamaño de la semilla. Los componentes secundarios son: el primer nudo floral, el primer nudo fructífero, el número de nudos, la altura de la planta y el número de ramas (Montes, 1977).

Rendimiento: 300 - 600 kg/ha en asociación y en unicultivo 1200 kg/ha.

Al parecer, la densidad de plantas alta en haba no es problema, ya que Ishag (1973) estudiando el rendimiento de cuatro variedades de haba, obtuvo un rendimiento de 7,100 kg/ha. con 57 plantas por m². en cambio con 36 plantas/m², el rendimiento fue de 5,100 kg/ha.

Se estima que los rendimientos del haba en asociación son de 300 a 600 kg/ha en asociación, y de 1,200 kg/ha en unicultivo; rendimientos de 620 kg/ha se considera como una producción baja debido principalmente, al intenso ataque de las plagas y enfermedades, nula tecnología en su explotación, así como limitaciones socioeconómicas.

En Santiago Tlalpan, Hueyotlipan, Tlaxcala, se tienen las siguientes características del cultivo de haba: Su ciclo de cultivo tarda un mes más que el frijol. Se puede sembrar en todo mayo. El productor sembró 10 kg de semilla en aproximadamente 500 m²; la distancia entre surcos fue de 80-90 cm, y de 20-30 cm entre matas (asi debería ser el frijol). A la cosecha obtuvo 60 kg de grano en verde, y 40 kg de grano en seco; tampoco fertilizó; el productor considera que faltó agua. Técnicamente la densidad de siembra fue de 200 kg/ha; y el rendimiento de 1.2 t/ha (Bautista, 1991).

3.3.3.5. Veza. Es una planta no exigente en cuanto a fertilidad; prospera en muchos tipos de suelo.

La época de siembra es del 10 de julio al 10 de agosto; la densidad de siembra es de 30 Kg/ha (SARH, 1984).

Aunque se menciona que cuando los cultivos de veza son destinados a producir semilla, en suelos fértiles la densidad de siembra no deberá exceder los 75 kg/ha, mientras que en suelos pobres no deben llegar a más de 90 kg/ha.

Los técnicos americanos recomiendan reducir un cuarto la densidad de la veza y en un medio la del cereal, en la asociación.

Para el caso de México, Aguilar (1985), indica que la mezcla de 50 kg de veza con 100 kg de avena forrajera da buenos resultados. Asi mismo, Maldonado (1987), reporta que al utilizar 15 kg de avena forrajera y 40 kg de veza de invierno/ha, obtuvo buenos resultados. Este mismo autor recomienda la fecha de siembra entre la primer semana de junio, hasta la primer quincena de septiembre, dependiendo del comportamiento del temporal.

Moreno *et al.*, (1975) reportan rendimientos en materia seca de 7.4 ton/ha para la veza sembrada sola (Romero, 1981).

3.3.4. Fenología.

3.3.4.1. Trigo. Las diferentes etapas de crecimiento se agrupan en amacollamiento (desde que la planta esta visible hasta que las primeras hojas se han desarrollado), generalmente los cereales producen de 2 a 7 macollos; extensión del tallo (desde el primer nudo hasta la banderilla); floración (desde que aparece la espiga hasta que las flores abren); y maduración.

Aunque otros autores consideran que de la emergencia de la plantula en la superficie del suelo, hasta la producción de semilla, el crecimiento de la planta de trigo se puede dividir en varias etapas (Stubbs, *et al.*, 1986; Zadoks, *et al.*, 1974), que se clasifican de la siguiente manera:

1.- Crecimiento de la plántula. 2.- Macollamiento. 3.- Alargamiento del tallo. 4.- Embuchamiento. 5.- Emisión de la espiga. 6.- Floración. 7.-Estado lechoso. 8.-Estado masoso. 9.-Madurez.

En condiciones normales las semillas germinan entre los cinco y diez días después de la siembra. Para los cereales como el trigo, la avena o la cebada, a los 20-30 días después de la germinación se tienen cinco hojas visibles; a los 40-45 días se da el encañe (Parson, 1982).

3.3.4.2. Maíz. Diferentes autores (Bunting y Kassam, 1988; Downe y, 1972; Holt y Timons, 1968; Palacios y Martínez, 1978; Shaw, 1983) coinciden en señalar que el periodo crítico, respecto a la sensibilidad del cultivo al déficit de humedad del suelo, es durante la fase de gametogénesis, es decir, desde el inicio de la formación de la espiga hasta el inicio de la floración, con una segunda etapa crítica al inicio de la formación del grano, después de la floración. Este período coincide con el tiempo de máxima transpiración del cultivo (Obrador, 1994).

Llanos (1984) señala que la falta de humedad puede provocar el aborto de parte de las flores, marchitez (agotamiento) de las hojas superiores, afectación de la polinización y como consecuencia, reducción de los rendimientos. Fischer *et al.* (1984) mencionan que la sequía que se presenta cerca de la floración con déficit de agua durante períodos de uno o dos días puede causar una reducción en el rendimiento hasta del 22%; mientras que la escasez de agua durante los estados de llenado de grano y los estados vegetativos tiene efectos mucho menores sobre el rendimiento (Obrador, 1994).

Para maíz se considera un período crítico de 80 días (iniciándose en el día juliano 170 y terminando en el día 250) que es cuando el cultivo es más susceptible al estrés hídrico (Obrador, 1994).

De acuerdo con la tabla de identificación de características y días promedio de los diferentes estados de crecimiento del maíz, la floración se presenta entre los 56 (la 16va hoja es visible, la punta de la espiga y el jilote son visibles, las hojas 5 y 6 pueden haber muerto), y 66 días después de la emergencia (El 75% de las plantas tiene estigmas visibles y hay emisión de polen) (ISA NAG).

Aunque otros autores consideran que la floración femenina se da entre el estadio 5 (emergencia de las barbas, vuelo del polen; a los 66 días luego de la emergencia) y el estadio 6 (estado de botón, 12 días después de la emisión de las barbas) (Hanway, John J.).

Otros investigadores consideran que 20 días antes de la floración y 10 días después de esta se considera uno de los períodos más críticos desde el punto de vista hídrico, pudiendo alcanzar 60% de pérdidas. Se piensa que en este período de tiempo se concentra el 45% de las necesidades totales de agua.

Cuando hay un incremento en la longitud del día, en una fase temprana, la planta desarrolla más hojas, y se alarga el tiempo entre la emergencia de la planta y la floración o emisión de la panoja masculina (Hanway, John J.).

Deficiencias de nutrientes o humedad puede resultar en un alargamiento del tiempo entre los estadios antes de la emisión de la panoja masculina (Hanway, John J.).

La mazorca se forma 8 a 10 días después de la formación de la inflorescencia masculina. En la inflorescencia masculina se forma el polen y en la femenina los óvulos que una vez fecundados darán lugar a las carióspsides.

La emisión del polen comienza algunos días después de la aparición de la espiga y generalmente dura una semana.

El número de granos que se desarrollan, el tamaño final y la tasa de incremento de peso de los granos es influida por la longitud del período desde la emisión de la panoja masculina a la madurez (Hanway, John J.).

3.3.4.3. Frijol. Características generales del desarrollo de la planta de frijol.

Dos fases sucesivas: vegetativa y reproductiva.

Fase vegetativa. Inicia cuando se le brinda a la semilla las condiciones para iniciar la germinación y termina cuando aparecen los primeros botones florales (en variedades de hábito determinado) o los primeros racimos (de crecimiento indeterminado).

Fase reproductiva. Comprende desde el momento de la aparición de los botones florales o los racimos y la madurez de la cosecha. En las variedades de crecimiento indeterminado la planta produce simultáneamente hojas, ramas, tallos, flores y vainas.

En cada fase se pueden ubicar cinco etapas de desarrollo, a saber:

Etapas de la fase vegetativa. Germinación, emergencia, hojas primarias, primera hoja trifoliada y tercera hoja trifoliada; y tres sub-etapas: cuarta, quinta y sexta hojas trifoliadas (Fernández, 1985).

Etapas de la fase reproductiva. Prefloración, floración, formación de vainas, llenado de vainas y maduración.

Los factores que influyen en la duración de las etapas son:

A).- Hábito de crecimiento. El hábito de crecimiento, definido fundamentalmente por las características de la parte terminal del tallo y de las ramas. Si al empezar la fase reproductiva el tallo y las ramas terminan en un racimo se trata de un hábito de crecimiento determinado y si termina en un meristemo vegetativo, la planta es de hábito indeterminado.

En el CIAT (Centro Internacional de Agricultura Trópic), se han definido cuatro tipos de hábito de crecimiento con base en las características de la parte terminal del tallo, en número de nudos, la longitud de entrenudos y la aptitud para trepar. Tipo I: Determinado arbustivo. Tipo II: Indeterminado arbustivo. Tipo III. Indeterminado postrado. Tipo IV: Indeterminado trepador.

B).- Precocidad. Dado por el tipo de semilla, aún dentro de un mismo hábito de crecimiento.

C).- Clima. Luz y temperatura (Fernández, 1985).

3.3.4.4. Haba. De acuerdo a la guía de cultivos (INIA, 1985), el ciclo de cultivo del haba es de 184 días o más. Considera que la emergencia se da luego del día 12 después de la siembra; la floración, luego de los 62 días; la formación del fruto, luego de los 125 días; la cosecha, luego de los 184 días.

Aunque otros investigadores considera el siguiente calendario:

Emergencia a los 11 días; Floración 62 a 93 días; Fructificación 124 a 152 días; Cosecha 185 a 250 días. En total el ciclo del cultivo es de 250 días.

Etapas críticas. Apertura de las flores esto es en los primeros brotes de yemas florales.

Uno de los factores limitantes de la producción en el cultivo de haba son la enfermedades y la polinización que es típicamente entomófila, realizada por áfidos (abejas) y bombícidos (abejorros).

3.3.4.5. Veza. Czapięu'ska (1968) señala que los momentos críticos del cultivo de veza vellosa asociada, es a la emergencia y a la floración.

3.4. LOS SISTEMAS DE CULTIVO: CONCEPTO, IMPORTANCIA, EXTENSION, EFICIENCIA E INVESTIGACION.

3.4.1. Concepto.

Cualquier forma de producción agrícola (agroecosistema) es en su sentido amplio un ecosistema artificial. La eficiencia del ecosistema va a determinar el aprovechamiento de la energía; esta eficiencia se mide a través de su productividad (Márquez, 1975).

Si bien es cierto que en los agroecosistemas la fuente de energía aplicada será la cantidad de trabajo utilizado, la calidad de dicho trabajo es también importante. Esta claro que en los agroecosistemas, al intervenir el hombre, la fuente de energía será variable de acuerdo a la cantidad de trabajo humano, animal o mecánico que se invierta. En un ecosistema agrícola podemos hablar de productividad económica (en la que interviene solo las partes de interes de la planta) y de productividad biológica (se habla de materia seca de toda la planta, incluyendo raíces). Así, la productividad económica se medirá en materia seca del producto del caso, por unidad de superficie, por estación de crecimiento en sentido estricto, o bien por año, según.

Las principales características generales de un agroecosistema seran, si éste consiste en un solo tipo de planta cultivada o si en el coexisten dos o más (eje espacio), y si, adicionalmente, el cultivo del agroecosistema, se hace continuamente, hay alguna alternancia con otros o se dejan algunos periodos significativos de descanso de la tierra (eje tiempo) .

3.4.1.1. Eje espacio. En este consideramos si el cultivo crece único o bien en algun grado de asociación, con otro(s) cultivo(s). En un extremo se encuentra el unicultivo y en el otro la asociación compleja. Dentro de esta clasificación se tienen varias subclasificaciones: por período de crecimiento y producción de la planta.

Unicultivos. a) Anuales. b) Semiperenes y perenes.

Cultivos asociados. a) Yuxtaposición: Alternación y mosaico. b) Asociación: Simple y compleja.

3.4.1.2. Eje tiempo. En cuanto a este tenemos tres tipos generales: 1) Si año tras año, o estación tras estación se explota el mismo cultivo (Monocultivo: anual, semiperene o perene). 2) Si a una forma de explotación le sigue otra u otras diferentes (Rotación: simple, con dos cultivos; compleja, con más de dos cultivos). 3) Si a una forma de explotación le sigue un periodo de recuperación de tierra (Descanso: Barbecho -año y vez- ; rosa-tumba y quema).

Considerando los factores espacio y tiempo, se pueden establecer combinaciones particulares, siendo de las más fáciles de ubicar la imbricación o cultivos de relevo. (Marquéz, 1975).

Cultivos múltiples incluye; cultivos secuenciados y cultivos asociados de varios tipos (mezclados, intercalados, en franjas, etc.). De estos, los cultivos asociados representan la práctica más común. La asociación de cultivos es la práctica agrícola en la cual dos o más cultivos crecen simultáneamente en la misma unidad de tierra (Krisnamurphy, 1984).

Como intercalado, tradicionalmente se entienden varias alternativas, entre las que predomina la siembra de uno a más surcos de un producto alternando con la de uno o más de otra especie cultivada.

Como asociado, se han considerado tradicionalmente aquellas siembras en las que antes de sembrar se mezclan las semillas, como maíz con frijol enredador, o que, en el momento de sembrar se apliquen dos o tres granos de una especie con dos o tres granos de otra.

3.4.2. Ventajas y desventajas.

Agronómicamente, cuando se analizan las prácticas de cultivo, para evitar el agotamiento de la fertilidad de los suelos, se recomienda la rotación o el establecimiento de la asociación de cultivos con el objeto de que al cultivar conjuntamente dos o más especies, haya un mejor aprovechamiento del suelo, e incluso, aportación de nutrientes al mismo (caso de la leguminosas) (Ortiz, 1979).

Además de las ventajas en el rendimiento (y los posibles beneficios económicos) a los cultivos múltiples se les ha atribuido una serie de propiedades adicionales:

- Reduce el riesgo de fracaso del cultivo.
- Baja variabilidad del rendimiento entre un ciclo y otro de cultivo.
- Se presentan patrones diferenciales de crecimiento y consecuentemente una más uniforme distribución de las labores en el tiempo.
- Menor susceptibilidad a plagas, enfermedades y malezas.
- Mejor calidad en los productos agrícolas (Krisnamurphy, 1984).

Desventajas de la asociación o el intercalado.

- Problemas para el efectivo combate de plagas y enfermedades, por la diferencia de los productos, las cantidades, la frecuencia de aplicaciones.
- Dificultad para el desarrollo de las labores de cultivo.
- Poca facilidad para la mecanización del sistema de cultivo.
- Dificultad para la aplicación de riegos.
- Dificultad para controlar malezas, aunque en algunos casos es benéfico.
- Los costos de producción pueden elevarse por la diferencia de labores culturales como de la recolección (Ortiz, 1979).

3.4.3. Ubicación nacional.

La asociación de cultivos es una práctica común en todo el país; es usualmente practicada en las áreas de temporal (Krisnamurphy, 1984). La diversidad de los factores ecológicos a que están sujetas las áreas agrícolas del país, permiten el asociado o intercalado de varios cultivos de ciclo corto, destacando más comúnmente la asociación maíz-frijol. En forma regional y en menor proporción se localizan áreas con asociaciones o intercalaciones de maíz con otras especies.

Dentro de las plantaciones de cultivos perenes también se contemplan intercalaciones aprovechando los espacios entre las hileras de árboles, cuando están en crecimiento, para sembrar cultivos de ciclo corto. Existen otros casos de frutales en donde los árboles permiten la siembra de otros en forma más permanente (Ortiz, 1979).

El maíz y el frijol son las especies que con mayor frecuencia se cultivan bajo asociación en México. Los hallazgos arqueológicos en México muestran el proceso evolutivo paralelo del maíz y el frijol (Kaplan y Mac Neish, 1964). Los trabajos de Miranda (1967) indican que en México el área de distribución del Teosinte (maíz silvestre) es justamente el área de distribución de las variedades de frijol silvestre (Krisnamurphy, 1984). De 25 Entidades Federativas encuestadas (1979) en 23 de ellas se siembra Maíz-Frijol; en 11 se siembra el maíz-calabaza; en 6 el maíz-haba; y solo en el Estado de Michoacán se siembra el maíz-frijol-calabaza, la única asociación de tres especies (Ortiz, 1979).

3.4.4. Investigación y Evaluación.

Numerosos estudios sobre la asociación de cultivos a nivel internacional, han sido encaminados hacia la valoración cuantitativa del rendimiento, estabilidad y rentabilidad económica; o bien, hacia la evaluación de aspectos fisiológicos (competencia por luz, humedad, nutrientes, por las estructuras aéreas de las especies, interacción de cultivos, conducta de crecimiento, interacciones radiculares); evaluación de la susceptibilidad relativa a plagas, enfermedades y malezas; y las evaluaciones mediante técnicas operacionales o mediante técnicas de análisis cuantitativo de resultados.

Un repaso de los trabajos importantes sobre la asociación maíz-frijol nos indica un enfoque de cuantificación de rendimiento como resultado del efecto de: 1) Diferencias varietales de maíz y frijol. 2) Variaciones en la densidad de población. 3) Dosis de fertilización. No obstante se ha empezado a darse atención a la investigación de otros aspectos como: manejo operacional, morfología de cultivos, incidencia de enfermedades, malezas y problemas de plagas.

De hecho el estudio de las interacciones de especies diferentes es mucho más difícil que los hechos sobre una planta como individuo o sobre una comunidad como un todo.

A partir de los programas desarrollados por el Programa Internacional de Biología (IBP), el enfoque de agroecosistemas ha sido fuertemente impulsado, prestando particular interés al conocimiento de la estructura y función de los sistemas agrícolas. De esta manera, los estudios sobre el flujo de energía y el ciclo de nutrientes como propiedades funcionales básicas de los sistemas, ha adquirido importancia primaria para el mejor conocimiento de los mismos (Krisnamurthy, 1984).

*

3.4.5. Eficiencia.

Considerando que el 50% de la superficie sembrada con frijol en México ocurre en asociación, principalmente con maíz, en 1969 los investigadores del Programa de Frijol en el Valle de México iniciaron los trabajos sobre este sistema de producción. El primer objetivo planteado fue determinar si las siembras de maíz y frijol asociados ofrecían mayor o menor remuneración económica en relación a las siembras en monocultivo. Después de tres años de investigación se considera que la asociación de cultivos maíz-frijol es superior en rendimientos económicos unitarios a las siembras solas de frijol o de maíz. La asociación que comúnmente practican los agricultores es susceptible de mejoramiento.

Continuando con la investigación, se determinaron las mejores variedades mejoradas de ambas especies, dosis de fertilización y densidades óptimas de población (de 30,000 y 90,000 plantas de maíz y frijol respectivamente), con el siguiente arreglo topológico: tres plantas por mata de maíz, cada 120 cm, y el frijol entre las matas de maíz (López, 1982).

Los sistemas de producción donde intervienen más de una especie en siembras simultánea o en relevo, se han venido practicando en México desde épocas Pre-Cuauhtémicas, y en la actualidad siguen siendo de gran importancia en la producción de alimentos, especialmente por los agricultores que poseen áreas agrícolas de tamaño pequeño (López, 1974).

Estos sistemas en general se identifican como agricultura tradicional, basados en conocimientos empíricos acumulados por siglos, consistentes en una serie de prácticas y elementos culturales desarrollados a partir de una estrategia de productividad y no de alta producción, donde no siempre todo lo que se produce tiene un valor de cambio, sino que se generan valores de uso indispensable en la economía campesina (Ramos y Hernández X., 1977).

La asociación, intercalación e imbricación de frijol con otras especies son un ejemplo clásico de los sistemas de producción tradicionales; se practican en México en alrededor de un millón de hectáreas, principalmente bajo condiciones de temporal.

Altieri y Yurjevic (1990) mencionan que en este agroecosistema los campesinos mezclan el haba con el maíz, pero de manera que el maíz se siembra 10 o 15 días más tarde que el haba; cuando el haba madura, se cosechan las vainas y el resto del follaje se deja como abono encima de las hileras de maíz, y debido a que esta leguminosa se descompone fácilmente ayuda al maíz en su crecimiento y reduce la necesidad de fertilizantes sintéticos (Alvarez, 1992).

Crews y Gliessman (1991) mencionan que los ingresos de nutrientes en las terrazas y cajetes de Tlaxcala se realiza a través de: (1) lavado de minerales primarios y secundarios de la roca madre y el suelo, (2) por deposición atmosférica, dada la cercanía de las ciudades de México y Puebla, y (3) a través de la fijación biológica del nitrógeno atmosférico libre (probablemente cianobacterias en los cajetes) y simbiótica a partir de las leguminosas cultivadas y los árboles de *Alnus* que rodean los cajetes.

No obstante la riqueza biológica y cultural existente todavía en algunos agroecosistemas de la región, en muchos lugares se ha abandonado la práctica de manejo y conservación del recurso, lo cual ha originado fuertes problemas de erosión en la delgada capa de suelo fértil y el afloramiento de los tepetates, ocasionando la pérdida gradual de los rendimientos en los cultivos, y cambios drásticos en el uso de la tierra (Alvarez, 1992).

3.5. LA FERTILIZACION: IMPORTANCIA Y TIPOS.

3.5.1. Importancia.

Los principales elementos nutritivos (16 elementos) que necesitan las plantas proceden del aire y del suelo. Si en el suelo faltara tan sólo uno de los nutrientes requeridos por las plantas, el crecimiento vegetativo será disminuido hasta el punto de cesar.

Los fertilizantes pueden con frecuencia duplicar y hasta triplicar los rendimientos de los cultivos. Aseguran también el aprovechamiento más eficaz posible del agua y de la tierra: el rendimiento por unidad de agua empleada puede duplicarse; la profundidad de enraizamiento del cultivo puede aumentarse (FAO, 1980).

3.5.2. Fertilización química.

Fertilización sintética; materiales que contienen nutrientes para las plantas. Pueden estar integrados por uno o más nutrientes; son de diferentes concentraciones, presentaciones y formas de aplicación.

3.5.3. Fertilización orgánica.

Los abonos orgánicos fueron los primeros productos que se utilizaron en la fertilización de los cultivos agrícolas; así lo demuestran descubrimientos que datan de los años 2000 a 2500 antes de nuestra era en el Valle de Mesopotamia y en los aluviones del río Nilo. En nuestro país, la importancia de los abonos orgánicos fue conocida por las culturas prehispánicas. En el Valle de México los Aztecas fertilizaban con un pescado en cada mata de maíz y las chinampas se formaban con suelos orgánicos o cieno rico en materia orgánica, porque así obtenían mejores cosechas (Fernández, 1982) (Galeana, 1990).

A raíz de la aparición de los fertilizantes químicos disminuyó paulatinamente la utilización de los abonos orgánicos. El estiércol se ha venido utilizando con fines agrícolas, prácticamente desde que existe ganado; sin embargo su manejo ha sido deficiente. En México se estima que hay un desperdicio de un 50% por el mal manejo e inadecuada aplicación (Cruz, 1986).

Fertilización natural, dada por las características propias de los materiales. Pueden ser estiércoles y/o productos orgánicos descompuestos. Los abonos orgánicos no son sólo valiosos por que aportan nutrientes a las plantas, también mejoran las condiciones generales del suelo.

Cada tonelada de materia seca de estiércol de ganado vacuno contiene cerca de 20 kg de nitrógeno, 8-10 kg de fósforo (P_2O_5), 24-28 kg de potasio (K_2O), 28 kg de calcio (CaO), 6 kg de magnesio (MgO), 4 kg de azufre (SO_3), 20-40 g de boro, 200-400 g de manganeso (MnO), 20-30 g de cobre,

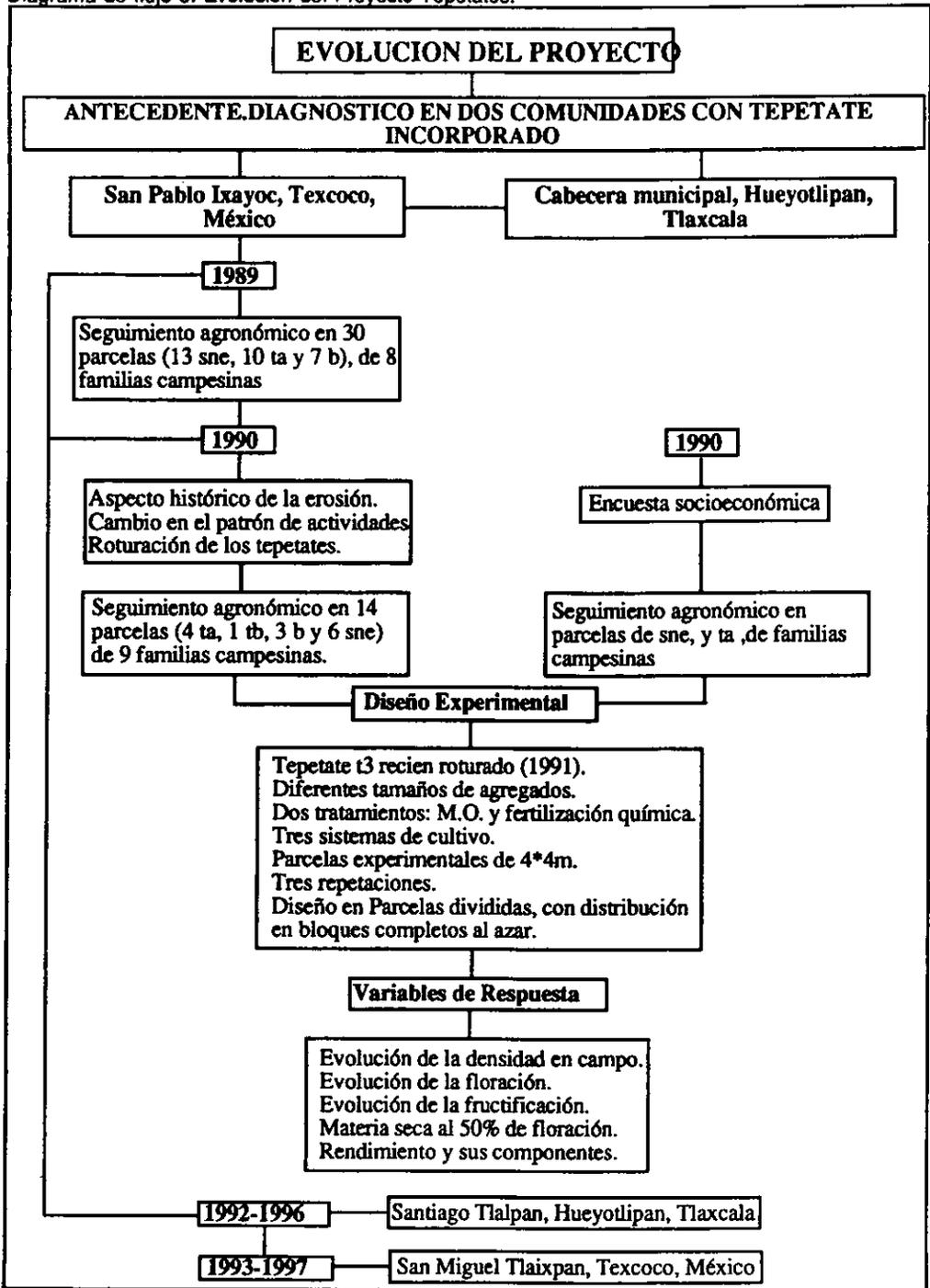
125-200 g de zinc, 2-3 g de cobalto y 2-2.5 g de molibdeno. Estos materiales orgánicos se denominan completos (Yagodin, 1982, citado por Galeana, 1990).

La materia orgánica del suelo esta formada de sustancias orgánicas no descompuestas, descompuestas y en descomposición. Son diversas las sustancias: Carbohidratos, ligninas, proteínas, taninos, grasas, resinas, pigmentos y minerales (Tamhame *et al*, 1979, citado por Galeana, 1990).

La materia orgánica mejora la estructura del suelo, reduce la erosión edáfica, ejerce un efecto regulador sobre la temperatura del suelo, y le ayuda a almacenar más humedad (FAO, 1980).

Los efectos indirectos más importantes serian: 1) proporcionar una coloración más oscura al suelo, lo cual facilita que se caliente. 2) Ayuda a la agregación del suelo 3) Actua como reservorio de nutrimentos de las plantas y previene el lixiviado de nutrimentos; esto es por la elevada capacidad de intercambio catiónico de las sustancias húmicas. 3) Regula el pH del suelo (capacidad buffer). (Rodríguez, 1994).

Diagrama de flujo 3. Evolución del Proyecto Tepetates.



CAPITULO 4. ANTECEDENTES DE LA PRESENTE TESIS.

Ya habíamos comentado en el apartado sobre "Experiencias de manejo en los tepetates", que el proyecto sobre "Suelos Volcánicos Endurecidos" se instrumentó en dos etapas. Desde la primera parte del proyecto se consideró necesario contemplar el aspecto socioeconómico de la recuperación agrícola de los tepetates. Como primera acción se decidió realizar el diagnóstico de producción en tepetates agrícolas de diferente edad de roturación y manejo agronómico. Así, nos dimos a la tarea, durante la segunda mitad de 1989 y todo 1990, de acudir al ejido de San Pablo Ixayoc, Texcoco; esto con la finalidad de entrar en contacto con familias campesinas que cultivan en tepetate, sin ser este el único sustrato en el que ellos siembran. Desde junio de 1989 se comenzó el seguimiento agronómico en 30 parcelas: 13 de suelo agrícola no endurecido, 9 de tepetate y 8 de brechas (tepetate con gran cantidad de piedras); se determinó la biomasa aérea, rendimiento y componentes de rendimiento a la cosecha. A través de encuestas y entrevistas con ocho familias campesinas se determinó el proceso de trabajo de las parcelas. Los resultados de 1989 fueron la base para la elaboración y ejecución de la investigación en 1990, cuyos trabajos de campo se iniciaron en marzo de ese año, con visitas periódicas; a partir del mes de mayo, uno de los investigadores se estableció permanentemente en el seno de una familia campesina, hasta diciembre del mismo año. En este año se trabajó, con nueve familias campesinas (algunas del año anterior); se eligieron mínimo dos parcelas por productor (tepetate-suelo no endurecido). En relación al aspecto antropológico se realizó una investigación para obtener los datos generales de la comunidad, enfocándose a las formas de organización de los grupos familiares en relación al uso y manejo de los sistemas agrícolas. En esta caracterización se siguió la guía de Murdock (1989) y se utilizaron las técnicas antropológicas fundamentales, es decir, la observación participante, viviendo en la comunidad por espacio de 8 meses; auxiliándose de encuestas y entrevistas, mediante las cuales se obtuvieron datos históricos del manejo de los tepetates en los últimos 30 años, la estructura y actividades económicas de las familias campesinas; el proceso de trabajo por parcela trabajada entre otros aspectos.

En cuanto al aspecto agronómico, se hizo una caracterización de los sistemas agrícolas familiares de 21 parcelas: 9 en suelo no endurecido y 12 en diferentes tepetates. En dichas parcelas se realizó el seguimiento agronómico en cuatro áreas de muestra o repeticiones (de 14 a 18m²/repetición); obteniéndose datos de crecimiento y desarrollo y producción del cultivo predominante, es decir, el maíz.

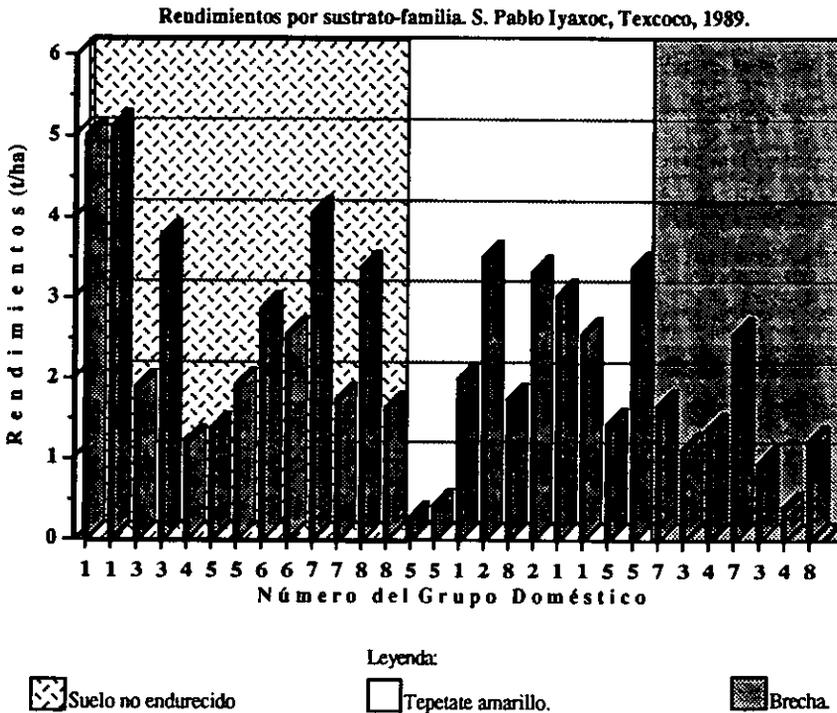
En relación al cultivo, el estudio incluyó: densidad de plantes, análisis topológico, emisión de hojas, floración, componentes y estimación de rendimiento. En los sustratos se implementó seguimiento de la humedad del suelo durante la etapa crítica del cultivo, análisis de fertilidad, así como perfiles culturales a la floración.

4.1. RESULTADOS. SAN PABLO IXAYOC, TEXCOCO, 1989.

4.1.1. Seguimiento agronómico.

Los resultados que se presentan a continuación son parte del trabajo presentado por Olivares y Márquez, 1992.

En 1989, en el ejido de San Pablo Ixayoc, Texcoco. El seguimiento agronómico en parcelas junto con los datos de rendimiento demuestran alta variabilidad entre parcelas con sustrato común y entre sustratos (gráfica 1).



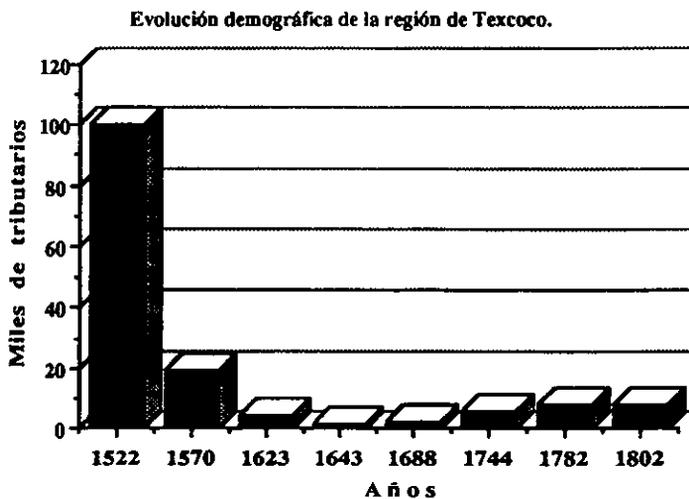
Gráfica 1. Rendimientos según sustrato y grupo doméstico. San Pablo Ixayoc, 1989.

4.2. RESULTADOS. SAN PABLO IXAYOC, TEXCOCO, 1990.

4.2.1. Aspecto histórico.

La inferencia que se obtiene de datos confirmados por las fuentes etnohistóricas y las evidencias arqueológicas, nos lleva a afirmar que con la destrucción del antiguo orden, es decir, con la desintegración de la sociedad del antiguo señorío del Acolhuacan y la destrucción del sistema

hidráulico desde el primer momento de la Conquista, el proceso de erosión se acelera y alcanza grandes proporciones. La invasión y las enfermedades traídas por los españoles provocan una grave caída demográfica que afecta determinadamente al sistema de terrazas que servía para controlar la erosión, es decir, con la desaparición de la fuerza de trabajo necesaria para manejar y mantener el sistema de terrazas, este se desintegra (gráfica 2).



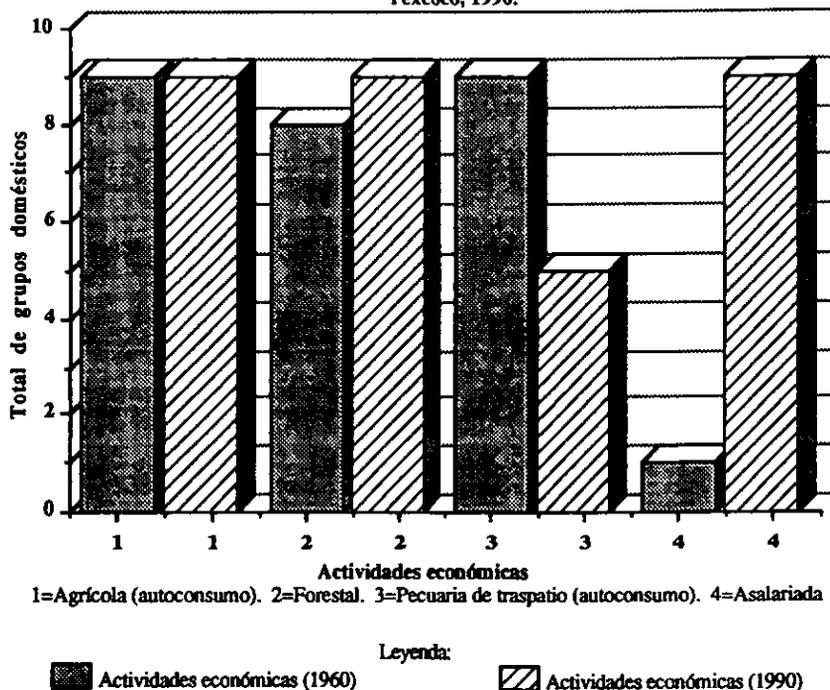
Gráfica 2. Comportamiento demográfico del área de Texcoco durante la Colonia (1522-1802).

En síntesis, la deforestación, nuevos implementos agrícolas como el arado, nuevas plantas, el pastoreo y también la baja demográfica dieron como resultado que grandes extensiones de tepetate quedaran expuestas antes de terminar el período colonial.

4.2.2. Aspecto socioeconómico.

Las actividades productivas más importantes hace 30 años eran la extracción y venta de leña complementada con la producción agrícola. Sólo el 10% de los grupos obtenía ingresos por concepto de trabajo asalariado. Actualmente la explotación del bosque ha disminuido tanto en cantidad como en tipo de aprovechamiento. El trabajo asalariado se ha incrementado considerablemente; las actividades agrícola y pecuaria no presentan cambios significativos (gráfica 3).

Importancia de las actividades económicas en 1960 y 1990. S. Pablo Ixayoc, Texcoco, 1990.

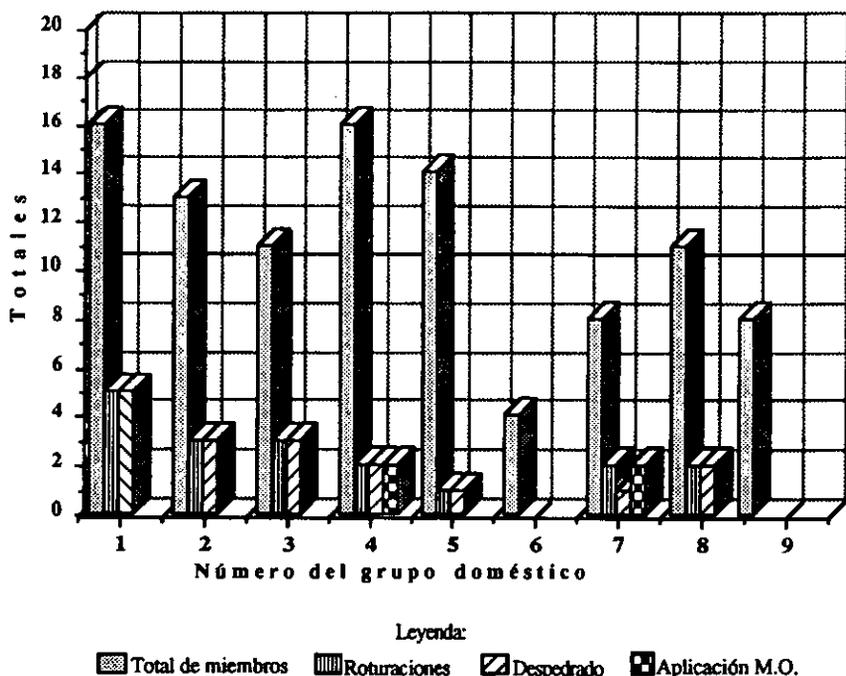


Gráfica 3. Cambio en el patrón de actividades económicas de los grupos domésticos.

4.2.3. Roturación de los tepetates.

Al final de la década de los sesenta se comenzaron a roturar los tepetates a base de trabajo y uso de herramientas manuales. Desde 1972 se iniciaron los trabajos de recuperación con maquinaria proporcionada por el municipio y mano de obra de los grupos familiares. A partir de 1976 se establece un programa de roturación intensivo por parte del gobierno federal y la participación de la comunidad. Después del establecimiento de las terrazas, el trabajo familiar ha sido fundamental para su aprovechamiento. El 78% de las familias encuestadas hicieron roturaciones posteriores, lo que significó una inversión adicional sobre todo en trabajo familiar. De esta manera encontramos una relación entre el número de miembros por familia y la cantidad respectiva de roturaciones (gráfica 4).

Tamaño de la familia/mantenimiento al tepetate. S. Pablo Ixayoc, Texcoco, 1990.



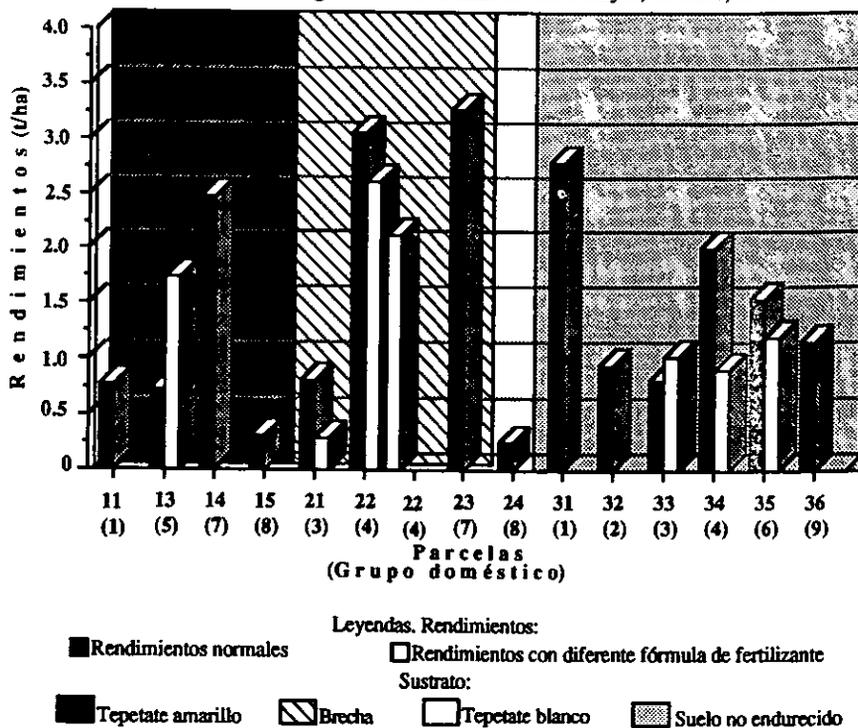
Gráfica 4. Tipo de familia-roturación-manejo inicial del tepetate.

4.2.4. Seguimiento agronómico.

Es evidente la variabilidad entre sustratos y al interior de cada tipo de sustrato o suelo. Considerando los promedios por sustrato, las brechas tuvieron los mejores rendimientos así como los más bajos. La eficiencia y los componentes de rendimiento reflejan las diferencias de producción. Las demás variables tienen un comportamiento diferente: el grupo de los tepetates amarillos tuvo el mayor porcentaje de plantas perdidas, superando en poco a los otros sustratos.

Para explorar la respuesta de una de las limitantes productivas de los tepetates se aplicó fertilizante nitrogenado, en dosis intermedia (120-00-00) La respuesta obtenida es diferente en cada sustrato, haciendo falta datos del manejo campesino al respecto, para comparar los resultados obtenidos. (gráfica 5).

Rendimientos según sustrato-familia. S. Pablo Ixayoc, Texcoco, 1990.



Gráfica 5. Rendimientos por parcela/productor. S. Pablo Ixayoc, 1990..

La producción de las parcelas de cada grupo doméstico es muy variable, debido a las diferencias en el manejo y tipo de suelo (Olivares y Márquez, 1992).

CAPITULO 5. MATERIALES Y METODOS

5.1. CARACTERIZACION DEL ENTORNO GEOGRAFICO.

5.1.1. Geología y geomorfología estatal y regional.

Con una superficie de poco más de 4,000 km², Tlaxcala, es el estado más pequeño de la República Mexicana. Su ubicación lo sitúa dentro del cinturón Transversal Neovolcánico, a su vez, éste se desplaza en la dirección oeste-este, siendo parte de la Sierra Neovolcánica Transversal (Eje Neovolcánico, según la nomenclatura de la SPP, 1981) (figura 1).



Figura 1. Localización del Eje Neovolcánico y de la zona de estudio.
Fuente: Navarro y Prat, 1995.

El estado de Tlaxcala se caracteriza principalmente por derrames lávicos de composición andesítica y basáltica, los cuales están cubiertos casi en su totalidad por tobas, arenas y areniscas tobáceas de la misma composición.

La mayor parte del Estado presenta áreas de relieve abrupto, muy ondulado y ondulado, los cuales forman lomeríos y sierras que están muy erosionadas. En menor proporción existen zonas planas que dan origen a valles y planicies. En su frontera sureste con el volcán de La Malinche (Matlalcueyatl), que alcanza a 4460 msnm, en la frontera sureste (Gerhard, 1986).

El municipio de Hueyotlipán se encuentra en el camino de la antigua ruta comercial de los pueblos del Altiplano que unía a éstos con los de la Costa del Golfo de México. En la lengua Náhuatl significa

“en el camino grande”. Geográficamente está localizado al noroeste de la ciudad de Tlaxcala, y es, en esta dirección, el último pueblo que pertenece culturalmente al área Tlaxcalteca. Topográficamente se ubica en un terreno accidentado, rodeado de montañas, lomeríos, barrancas y la planicie de Soltepec (Romero, 1992). En el municipio de Hueyotlipan, las tobas (rocas) que se localizan son las cuarzólicas, la de mayor extensión en el estado, y la traquiandesítica (tobas piroclásticas) (que se depositaron en un medio terrestre). Hueyotlipan se ubica entre los cerros de San Simeón y lomeríos de San Nicolas Jicotepec.

5.1.2. Suelo y clima de la región.

Hueyotlipan se encuentra entre la llanura cebadera de Soltepec, hasta la zona de lomeríos y cañadas; la estación de crecimiento determinada por las heladas varía desde 180 hasta 210 días. En la parte norte del Estado existe una franja sumida que es seca, desplazándose desde Apan, Hidalgo, pasando por Apizaco, Huamantla, hasta El Carmen; en esta franja la temporada de lluvias dura cinco meses, con pp de 400 a 800 mm al año; y temperaturas entre los 13 y 19°C en 3-4 de los meses húmedos (Clima subárido). Finalmente, las unidades de suelo son principalmente son del tipo feozem en la llanura , o cambisol-litosol en las laderas (Navarro, 1992).

5.1.3. Localización geográfica del area experimental.

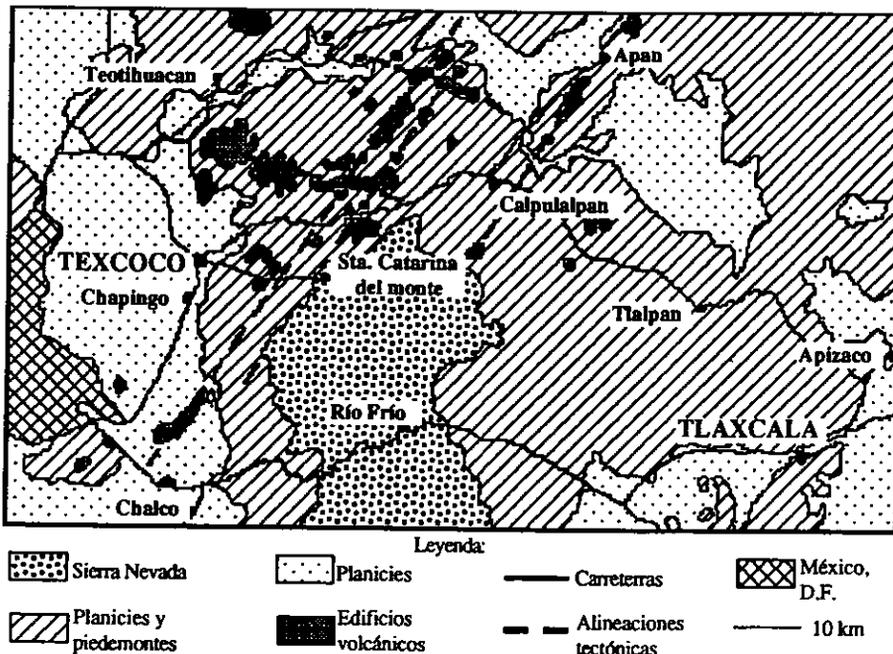


Figura 2. Fisiografía de los valles de México y de Tlaxcala (Según Peña y Zebrowski, 1992).

Fuente: Navarro y Prat, 1995.

El experimento se realizó en el ejido de Santiago Tlalpan, municipio de Hueyotlipán, estado de Tlaxcala; con coordenadas 19° 20' de latitud norte y 98° 20' de longitud oeste, con una altitud aproximada de 2600 msnm (figura 2).

5.2. CARACTERÍSTICAS DEL TEPETATE EXPERIMENTAL.

5.2.1. Tipo de tepetate.

Se eligió un tepetate de la serie estatigráfica t3, de color pardo, por ser el más representativo en la región. La zona original se encuentra en un área erosionada de superficie irregular y pendiente general de 3%.

5.2.2. Características físico-químicas.

Antes y después de la roturación se muestreo el área para realizar análisis físico-químicos; la profundidad del muestreo fue de 20 cm. Sólo al tepetate no roturado se determinó su resistencia y densidad aparente. Se trata de un tepetate poco duro (resistencia de 115 kg/cm²), que se desagrega en estado húmedo, lo que es característico de un fragipan (cuadro 10a). Los análisis físico-químico del tepetate sin roturar y roturado ("fino" y "grueso") indican: pH neutro, sin efectos de salinidad, de buena clase textural, extremadamente pobre en materia orgánica, nitrógeno, con altas cantidades de cationes intercambiables; la diferencia importante entre el tepetate no roturado, y aun entre el tepetate roturado fino y el grueso, es la cantidad de fósforo, pues al parecer, entre menor agregación mayor fósforo disponible (según tablas de interpretación de Etchevers, 1978) (cuadro 10b).

La roturación se realizó con un tractor de oruga "caterpillar" D-5, de mediana potencia, con 3 subsoladores, a una profundidad media de 40 cm.

Cuadro 10a. Características físico-químicas del tepetate experimental

Tepetate	Resistencia (kg/cm ²)	Densidad aparente (g/cm ³)
Sin roturar	115	1.47

Cuadro 10b. Características físico-químicas del tepetate experimental

Tepetate	pH	CE	Clasificación textural	M.O. (%)	N (%)	P (olsen) ppm	K NH ₄ OAc	Ca meq/100g	Mg IN	Na pH7
	1:2 H ₂ O	mmhos /cm					-----	-----	-----	-----
Sin roturar	7.31	0.291	Franco arcilloso arenoso	0.10	0.02	trazas	1.87	11.75	9.97	0.56
Roturado ("fino")	7.21	0.242	Franco arcilloso arenoso	0.13	0.03	21.25	1.71	10.64	9.97	0.68
Roturado ("grueso")	7.36	0.145	Franco arcilloso arenoso	0.17	0.02	7.5	1.46	8.88	9.81	0.54

5.3. CARACTERISTICAS DEL EXPERIMENTO.

5.3.1. Sistemas de Cultivo propuestos.

Las experiencias de campo nos indican que los campesinos cultivan trigo (*Triticum aestivum*) o maíz (*Zea mays*) en un tepetate recién roturado. Para este experimento se consideraron a ambos; solo que el maíz, por el riesgo de producción del primer año, fue asociado con frijol (*Phaseolus vulgaris*) y haba (*Vicia faba*) especies que además de ser comúnmente cultivadas por la familia campesina -junto al maíz-, proporcionan nutrientes al suelo además de mejorar su estructura. El trigo se sembró en unicultivo. Como sistema de cultivo alternativo se consideró a la veza en unicultivo (*Vicia villosa*), leguminosa forrajera, de alta digestibilidad y valor proteico, tolerante a la sequía y a bajas temperaturas.

5.3.2. Tratamientos considerados.

Tanto a la asociación Maíz-frijol-haba como a los unicultivos trigo y veza, se sometieron a los siguientes tratamientos.

a) Aplicación de 40 ton/ha de materia orgánica húmeda (estiércol básicamente de bovino), cantidad mínima para generar procesos de formación de suelos que los campesinos pueden adquirir y/o juntar con menos problema. El análisis químico del estiércol seco demuestran cantidades importantes de nitrógeno, calcio y potasio (cuadro 11). Es importante mencionar que la humedad de las muestras analizadas fue de alrededor de 40.3% (con intervalo de 37.3 a 45.8%).

Cuadro 11. Análisis químico del estiércol utilizado. S. Tlalpan, Hueyotlipan, Tlaxcala. 1991.

N	P	K	Ca	Mg	Na	C	Fe	Cu	Mn	Zn
-----%-----										
								-----ppm-----		
1.40	0.30	1.71	1.12	0.62	0.12	39.50	13.889	23	282	89

b) Tres dosis de fertilización : F1= 00-60-00; F2= 60-60-00; F3= 120-60-00. Se varió el elemento nitrógeno por haberse evaluado en experiencias anteriores, como insuficiente en maíz durante la floración femenina. Los fertilizantes utilizados fueron el sulfato de amonio combinado con el superfosfato de calcio simple.

Si cada tratamiento se repite tres veces, tenemos 18 unidades experimentales por sistema de cultivo. A estas sumamos 6 unidades experimentales (asociación no inoculada). En total, son 60 unidades experimentales. El área de cada unidad experimental fue 4*4m (16m²). En la asociación inoculada y en el unicultivo de trigo se tuvieron unidades experimentales dobles. La distribución de los tratamientos y las unidades experimentales en la parcela experimental esta dada en la figura 3.

5.3.3. Diseño Estadístico utilizado.

Originalmente se había considerado para el análisis estadístico de los resultados el diseño Bifactorial en Bloques completos al azar; pero no nos percatamos que en la distribución de los

factores (fertilización orgánica e inorgánica), habíamos configurado espacios en los que cada factor en cuestión tenía su espacio; es decir, el arreglo en bloques completos al azar (aunque para veza no fue posible realizar bloques completos) se encontraba dentro del diseño de Parcelas Divididas. La presencia y gran influencia en los resultados de los factores "profundidad de la capa arable" y "tamaño de agregado", ambos interrelacionados y originalmente no considerados, obligó a realizar un esfuerzo extra para "encontrar" el modelo más adecuado para el análisis estadístico de los datos. Hay que resaltar la labor de varios académicos del Colegio de Postgraduados en Ciencias Agrícolas, en especial la del Dr. Victor H. Volke Haller, en esta búsqueda.

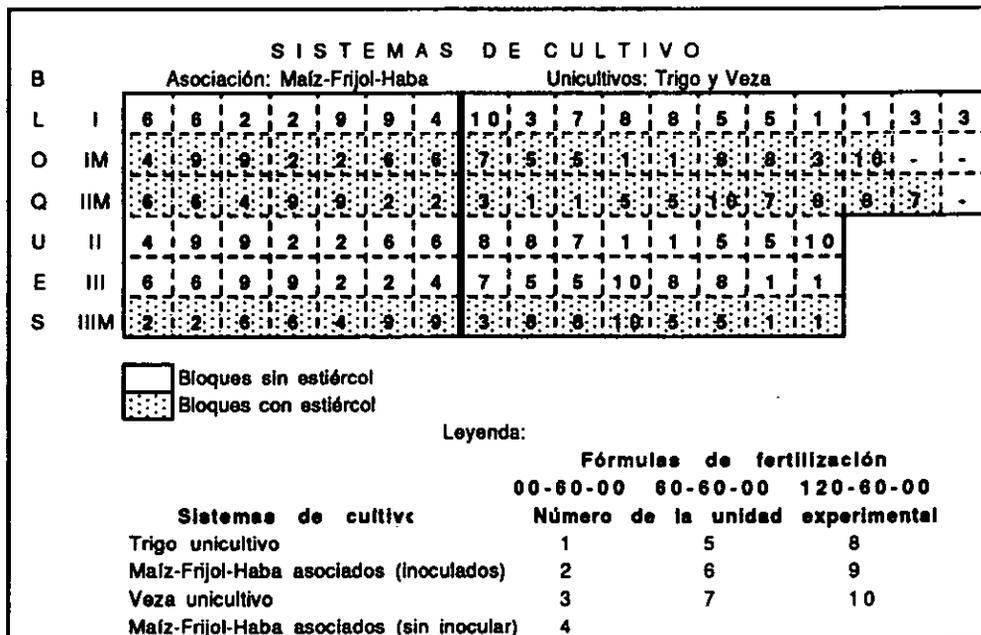


Figura 3. Distribución de los tratamientos en la parcela experimental.

A la vuelta del tiempo y de haber ensayado varias alternativas de diseño estadístico, y gracias a la labor del Dr. Volke, llegamos a la conclusión de que nuestro experimento se desarrolló como un diseño estadístico de parcelas divididas, con arreglo en bloques al azar, y tres repeticiones. La parcela grande esta dada por el factor Materia Orgánica, mientras que la parcela chica es representada por el factor Fertilizaciones minerales. Cada sistema de cultivo se analiza por separado.

5.3.4. Trabajos en campo.

Ya establecidos los sistemas de cultivo en la parcela experimental, se registraron controles de variables como: densidad establecida y alturas de plantas, velocidad en la emisión de hojas, inicio, 50% y término de floración así como de fructificación. Al 50% de floración femenina de las especies observadas se tomaron muestras representativas para determinación de materia seca. A la cosecha, se

tomaron tres surcos útiles, en la asociación, y 0.25m² en los unicultivos. Las mediciones de humedad edáfica fueron realizadas periódicamente por el "Equipo de Tlaxcala". Además, de manera constante se dió mantenimiento a la parcela experimental, sobre todo en lo referente a drenes internos y bordos de contención.

Se realizaron en campo dos observaciones cualitativas sobre el tamaño del agregado. También se implementaron mediciones cuantitativas de tamaño de partícula hechas en diferentes muestreos, diferentes el uno al otro (en procedimiento, profundidades y areas de muestra). Considerando los resultados de estos muestreos sistemáticos es un tanto difícil considerar a alguno de éstos por la diferencia de procedimiento y la falta de representatividad. Aun así, se consideraran en el análisis de resultados.

5.3.5. Trabajos en laboratorio.

En laboratorio se realizaron las diferentes determinaciones de materia seca, tanto a la floración como a la cosecha. A la floración se tomó una muestra representativa de plantas de uno de los surcos de la parcela experiemntal. Esta muestra se seco en el horno a 70°C durante 48 hrs.

A la cosecha, se midió la altura de algunas plantas, se contaron el número de plantas y el número de tallos; la planta se cortó a nivel de la superficie del tepetate. La asociación Maíz-frijol-haba y en el unicultivo de trigo se separó el fruto del resto de la planta. La planta se sometio a 70°C durante 48 horas para determinar materia seca; se contó el número de frutos, el número de granos por fruto; los granos se introdujeron al horno para tenerlos a humedad constante, se pesaron para estimar el rendimiento, de estos granos se muestreo para determinar el % de humedad y poder estandarizar los resultados por parcela experimental.

Las muestras de tepetate para determinación del estado granulométrico fueron secadas, tamizadas y pesadas.

5.3.6. Trabajos en gabinete.

Los formatos con los datos de campo, se "capturaron" en sistemas computacionales "Macintosh"; todos los resultados, a la floración y a la cosecha, se pasaron de la superficie útil de cada parcela experimental a hectárea. En esta misma computadora se integraron los diferentes documentos de esta experiencia.

CAPITULO 6. RESULTADOS Y DISCUSION.

6.1. ROTURACION Y GRANULOMETRIA DEL TEPETATE.

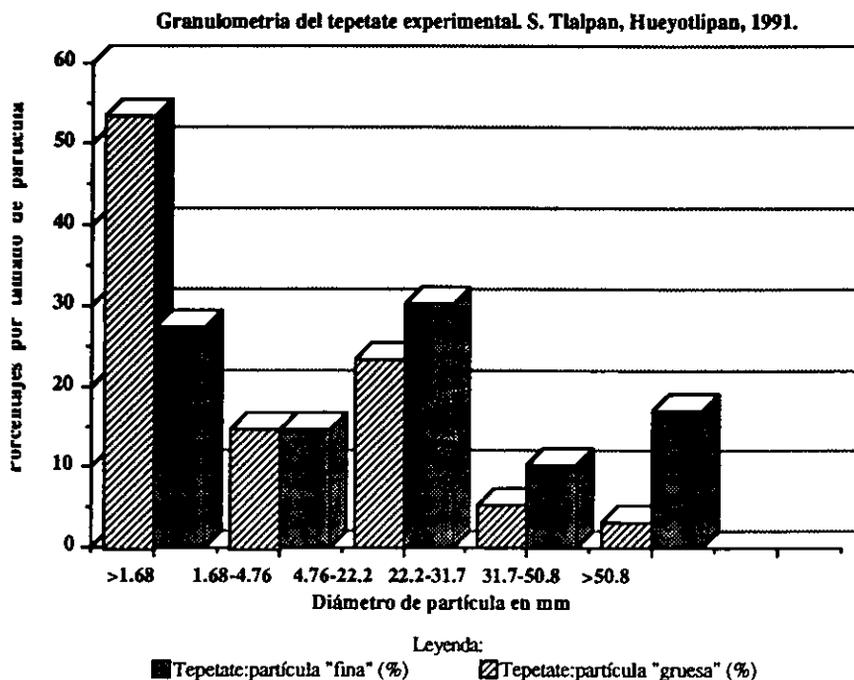
El caterpillar, considerado como de mediana potencia, fue utilizado para el subsoleo y la elaboración de una terraza formando un bordo de contención a lo largo de ésta.

Para trabajar 2600 m² el caterpillar empleó 30 horas, es decir, 115 horas/ha lo que representaría para el productor una inversión de 90,000 pesos/hora (precios de 1991).

Después de la roturación se dió un paso de rastra con su cruz a toda la terraza, para romper aun más los bloques de tepetate.

En la terraza formada se presentaron tamaños de partícula y profundidades diferentes: mientras de la mitad hacia arriba el tipo de agregado es grueso, con 10-15 cm de profundidad en su capa arable; de la parte media hacia abajo, por el acarreo del tepetate pulverizado, se formó una capa arable de 40 a 80 cm. de profundidad, integrada por agregados finos. Aunque, como lo veremos adelante, la diferenciación de profundidad de capa arable y del tamaño de agregado fue de tres niveles. Para efectos ilustrativos en esta parte solo consideramos los dos niveles arriba comentados.

El análisis del tamaño de agregado muestra las diferencias entre estos dos tipos de agregado (gráfica 6).



Gráfica 6. Distribución de los diámetros de agregado, según tipo de tepetate.

6.2. CALENDARIO DE ACTIVIDADES AGRICOLAS.

Por tratarse de una siembra tardía se escogieron semillas precoces para evitar eventos climáticos adversos. La siembra fue diferenciada: mientras el maíz, el trigo y la veza fueron sembrados "en seco", el haba y frijol tuvieron que esperar condiciones favorables de humedad que facilitarían el desarrollo del *Rhizobium* inoculado en estas semillas. A excepción de la veza, a las otras especies se les realizó fertilización fraccionada, colocando todo el fósforo y la mitad del nitrógeno a la primera y el resto del nitrógeno a la segunda fertilización. En la parte surcada fueron realizadas las dos labores que faciliten el crecimiento de la asociación establecida. Las actividades realizadas durante el proceso de trabajo se muestran en el cuadro 12.

Cuadro 12. Calendario de actividades agrícolas realizadas.

Actividad	Especie	Maíz	Frijol	Haba	Trigo	Veza
		Criollo, amarillo chico	Criollo, "Ojo de liebre"	Criolla, chica.	variedad Zacatecas	vellosa (de invierno)
Preparación	Rastra	14 / 05	14 / 05	14 / 05	14 / 05	14 / 05
	Surcado	22 / 05	22 / 05	22 / 05	—	—
Siembra		23 / 05	15 / 06	13 / 06	23 / 05	23 / 05
	Densidad (kg/ha)	17 (4 semillas/golpe)	11 (3 semillas/golpe)	51 (2 semillas/golpe)	150 (al voleo)	50 (al voleo)
Labores	1ra.Fertilización	24 / 05	24 / 05	24 / 05	24 / 05	24 / 05
	1ra. Labor	7 / 08	7 / 08	7 / 08	—	—
	2da.Fertilización	17 / 09	17 / 09	17 / 09	17 / 09	—
	2da.Labor	17 / 09	17 / 09	17 / 09	—	—
Cosecha		13 / 11	26 / 10	26 / 10	26 / 10	5 / 11

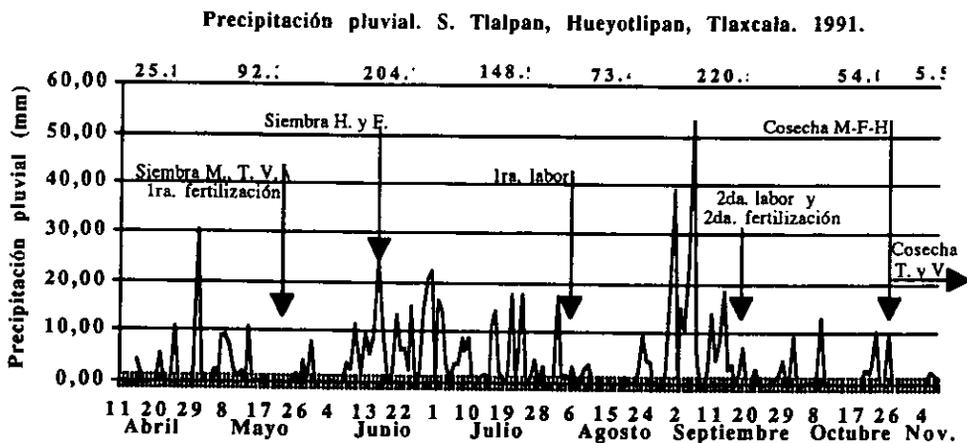
6.3. EVENTOS CLIMATICOS.

Los datos de clima (temperaturas y precipitación pluvial) y la determinación de la humedad y tensión en el suelo, fueron obtenidos por la parte del equipo que labora en el estado de Tlaxcala; este sub-equipo está integrado por investigadores de la Universidad Autónoma de Tlaxcala y de la Universidad de Giessen (Alemania). La estación termopluviométrica se localiza a menos de 100 m en dirección norte de la parcela experimental. Los datos de precipitaciones pluviales se obtuvieron de un pluviómetro de control y de un pluviógrafo del tipo Hellmann; los que aquí se presentan son los resultados registrados en el pluviógrafo.

6.3.1. Precipitaciones pluviales.

La distribución mensual de las precipitaciones pluviales fue desigual. El inicio de período de lluvias fue a buen tiempo; fueron aproximadamente 104 mm de lluvia precipitada, un tercio de esta fue en un evento (1 mayo). Este buen comienzo se trunco ya que durante todo mayo y la primera semana de junio la irregularidad de las lluvias es más acentuada, predominando las lluvias de escasa precipitación, lo que dio origen a un período de canícula de más de 20 días (del 15 de mayo al 8 de junio). La normalización de las precipitaciones se dio luego del 8 de junio; después las lluvias fueron

más constantes y fuertes. Así fue hasta el 3 de agosto, ya que después de esta fecha las precipitaciones se tornaron más pequeñas; durante este lapso se da la segunda canícula que dura del 11 al 20 de agosto. Las lluvias comienzan a ser fuertes nuevamente; en septiembre se presentan las precipitaciones más intensas (de 39, 24 y 53 mm en los días 1, 5 y 6 de septiembre); entre estos eventos fuertes también se dieron cuatro pequeños períodos (de dos a cuatro días sin lluvia). Durante octubre decrece la intensidad de las lluvias, los períodos sin lluvia son mayores y de más tiempo (gráfica 7). Así es que después de cada período de sequía intraestival siguió otro de intensas lluvias (junio/julio y septiembre), provocando un exceso de agua y, por consiguiente, erosión del material roturado. Según el promedio anual de las lluvias, se puede decir que 1991 fue un año húmedo (Baumann, *et al*, 1992).



Gráfica 7. Comportamiento diario y mensual de las lluvias.

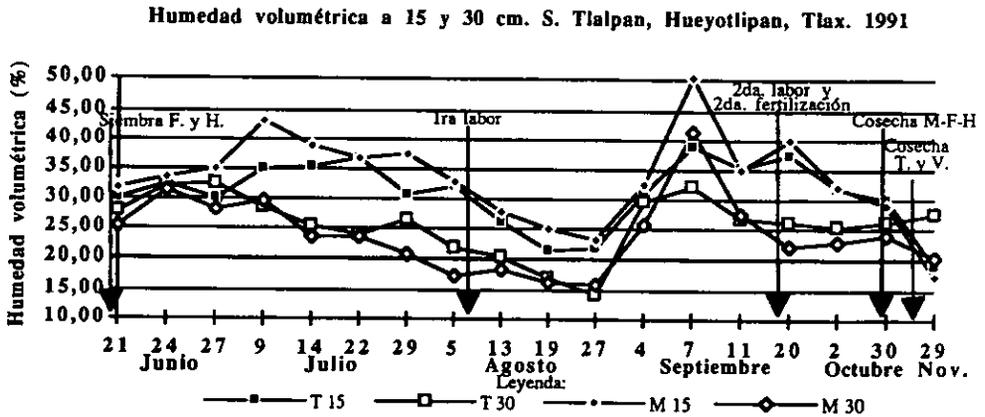
6.3.2. Disponibilidad hídrica en el tepetate.

La medición de la humedad volumétrica se realizó cada 15 cm hasta una profundidad de 45 cm, según el método de Time Domain Reflectometry (TDR), con el equipo llamado "Trase System". En la parcela se contó con nueve repeticiones distribuidas tomando en cuenta la variación de la estructura superficial; cinco repeticiones se ubicaron en el trigo unicultivo en las fertilizaciones mineral más altas, con y sin aplicación de estiércol; las demás se ubicaron en el tratamiento de la asociación Maíz-Frijol-Haba con la fertilización más alta (Baumann, *et al*, 1991).

Considerando las profundidades de 0-15 y 15-30 cm, en trigo unicultivo y en la asociación Maíz-Frijol-Haba (los tratamientos con más alta fertilización). En el comportamiento en las dos profundidades se aprecia que al inicio de las observaciones se reportan resultados similares para los diferentes tratamientos; salvo una o dos mediciones en el resto la humedad edáfica fue mayor en la

profundidad de 0-15 cm, en ambos sistemas de cultivo. La diferencia entre las profundidades oscila entre los 7 y 15% de humedad volumétrica. El ritmo de las precipitaciones coincide con el de la acumulación de humedad edáfica: entre la siembra de frijol-haba y la primera labor, la continuidad de las precipitaciones pluviales se reflejó en un aumento en la humedad edáfica; las precipitaciones bajas y erráticas de agosto también se reflejaron en la humedad del tepetate, durante esta sequía el contenido de humedad volumétrica disminuyó hasta 12% en los 15-30 cm en el material grueso mientras que en el material fino bajo hasta 18% (Baumann, 1991); lo mismo para el siguiente periodo de altas precipitaciones de finales de agosto y principios de septiembre.

Puesto que las oscilaciones de temperaturas mínimas y máximas no fueron contrastantes, salvo ciertos periodos, la evapotranspiración no afectó en mucho la humedad en los diferentes niveles del tepetate (gráfica 8).



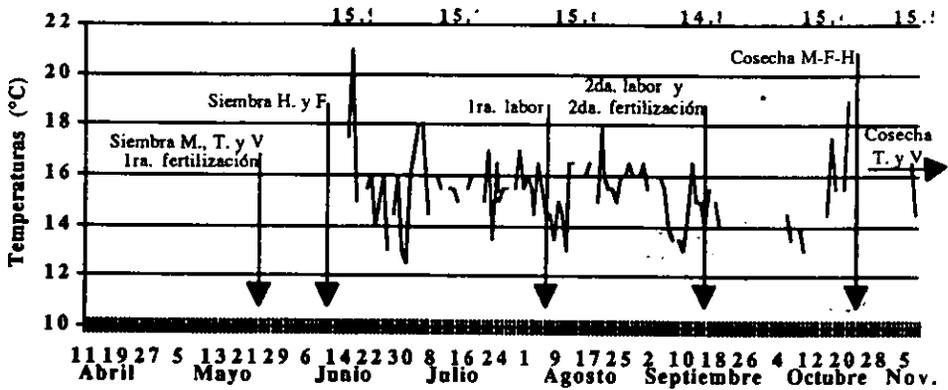
Gráfica 8. % de humedad volumétrica en el ciclo agrícola '91.

6.3.3. Temperaturas promedio.

Los datos de que disponemos son de temperaturas máxima y mínima diarias; la temperatura media se obtuvo al promediar ambas. Los promedios por mes son satisfactorios; las temperaturas promedio mensuales más bajas fueron del orden de los 12.5°C, y las más altas no rebasaron los 21°C; ambos resultados son adecuados para el crecimiento y desarrollo de las diferentes especies establecidas en el experimento; de hecho en buena parte del proceso de trabajo predominaron las bajas oscilaciones de las temperaturas medias (gráfica 9).

Para tener una visión más cercana de las temperaturas en la zona, recurrimos a las temperaturas mínimas y máximas.

Temperaturas medias. S. Tlalpan, Hueyotlipan, Tlaxcala. 1991.

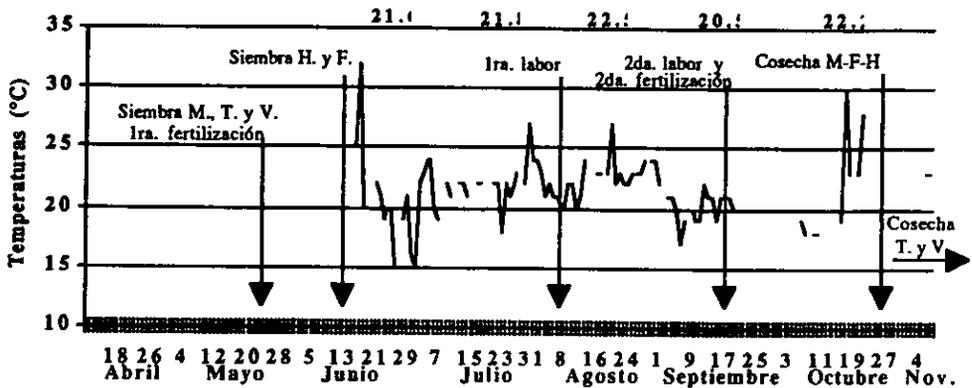


Gráfica 9. Temperaturas promedio diarias y mensuales.

6.3.4. Temperaturas máximas.

Se presentaron muy uniformes ya que el promedio mensual de la más alta temperatura máxima fue de 22.5°C (agosto) y la más baja fue de 20.5°C (septiembre). Las mayores oscilaciones térmicas máximas se dieron en los meses de junio (15-27°C), julio (18-27°C) y octubre (19-30°C); meses en los que las especies ya establecidas continuaban su crecimiento y desarrollo, para octubre estaban en llenado de grano (gráfica 10).

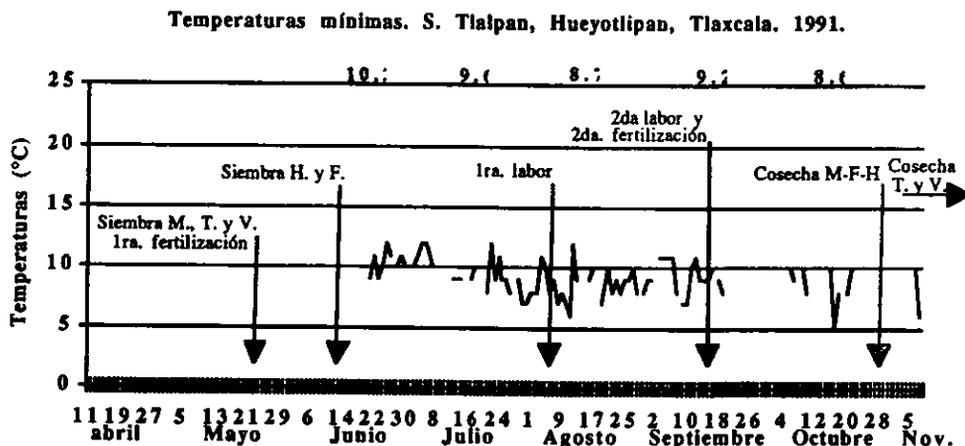
Temperaturas máximas. S. Tlalpan, Hueyotlipan, Tlaxcala. 1991.



Gráfica 10. Oscilaciones y promedios mensuales de las temperaturas máximas.

6.3.5. Temperaturas mínimas.

Al igual que las temperaturas máximas, en las mínimas tampoco se tuvieron diferencias en los promedios mensuales: de 8.6°C (octubre) a 10.2°C (junio). La oscilación térmica fue menos drástica que con las temperaturas máximas; en la mayoría de los meses fue prácticamente la misma oscilación térmica, la de septiembre fue la mayor (5-11°C); en este mes algunas de las especies se encontraban en el encañe y amacollamiento y con buenas condiciones de humedad pues las precipitaciones pluviales fueron las mayores del año (gráfica 11).



Gráfica 11. Oscilaciones y promedios mensuales de las temperaturas mínimas.

6.3.6. Comportamiento climático-Sistemas de cultivo.

A pesar que en los días anteriores a la siembra de algunas de las especies, las precipitaciones pluviales fueron buenas (aproximadamente 104 mm), la humedad edáfica no se apreciaba adecuada para una germinación normal, tan así que el haba frijol asociados no fueron sembrados sino hasta el 13 y 15 de junio respectivamente, ya que la bacteria inoculada en estas especies podía sufrir bajas fuertes en su establecimiento y colonización.

El inicio real del temporal se ubica entre los últimos días de mayo y los primeros de junio; el inicio de crecimiento de las especies lo ubicamos luego de la primer semana de junio, es decir, en los hechos se trata de una siembra muy tardía. Sin embargo, el mismo mes de junio, todo julio y la primer semana de agosto fueron adecuados en lluvias (de buena cantidad de agua precipitada sin llegar a ser erosivas por su intensidad baja-media); para el restante mes de agosto se da una drástica disminución en la cantidad e intensidad de agua llovida, tan así que se presentan dos canículas y, por consiguiente, baja en la humedad edáfica acompañada de temperaturas máximas altas. Y, como vimos, para septiembre se da otra serie de lluvias fuertes, consolidando el crecimiento de las especies.

6.3.7. Comportamiento climático-humedad en el Tepetate.

El seguimiento hídrico en diferentes unidades experimentales demuestran que no se presentó periodo alguno con déficit hídrico, a pesar de las restricciones causadas por las dos canículas; por otro lado, el material de partícula fina retuvo más humedad que el de partícula gruesa.

Por lo anterior se puede considerar que el comportamiento climático fue adecuado. En las temperaturas no se dieron oscilaciones fuertes; las precipitaciones pluviales, aunque establecidas tardíamente, fueron buenas; luego de la segunda labor y segunda fertilización las lluvias comenzaron a ser menos intensas, con la humedad de estas y el remanente dejado por las fuertes lluvias, se permitió que las especies establecidas completaran bien su ciclo.

6.4. APTITUDES PRODUCTIVAS DE LOS SISTEMAS DE CULTIVO.

Los datos del comportamiento productivo de los sistemas de producción, se trataron a través de dos técnicas, el análisis comparativo y el análisis estadístico.

a) Análisis comparativo. Considerando únicamente los rendimientos económicos según la dosis de fertilización mineral y orgánica. Para visualizar mejor el efecto comparativo se consideran dos tamaños de agregado: fino y grueso. Para este análisis se emplearan gráficas con barras.

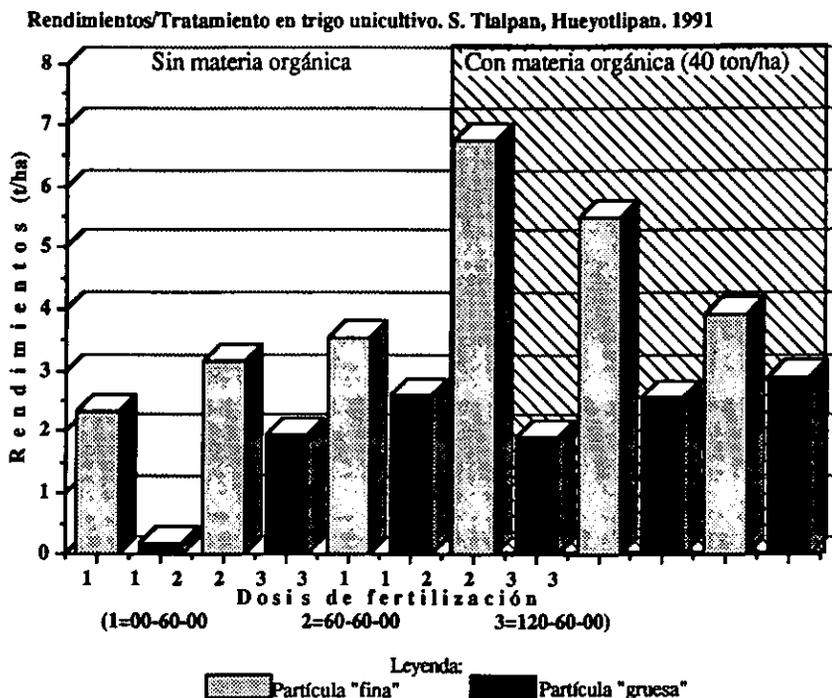
b) Análisis estadístico. Dadas las "nuevas" condiciones de los tratamientos, y de realizar varios intentos por encontrar el diseño estadístico más adecuado, se encontró que el diseño en parcelas divididas con distribución en bloques al azar era mejor. Nos auxiliamos del análisis de Regresión. En el análisis estadístico consideramos tres tamaños de agregado: fino, medio y grueso. El monocultivo de trigo fue el mayormente analizado por ser este el sistema de cultivo con mayores controles en campo; consideramos al rendimiento económico y una serie de componentes de rendimiento; para este sistema de cultivo se realizó análisis de regresión y de correlación, con sus gráficas respectivas.

6.4.1. Análisis comparativo.

Al observar en campo el desarrollo de las especies cultivadas eran bastante claras las diferencias de crecimiento influidas por la ubicación de la unidad experimental, es decir, el espesor de la capa arable y el tamaño de agregado. Esta situación se vio reflejada en los rendimientos estimados: en todas las especies los tratamientos que se ubicaron en áreas de partícula gruesa tuvieron menores rendimientos que sus similares del lado de la partícula fina, a excepción de la veza y de otros pocos tratamientos en los demás cultivos.

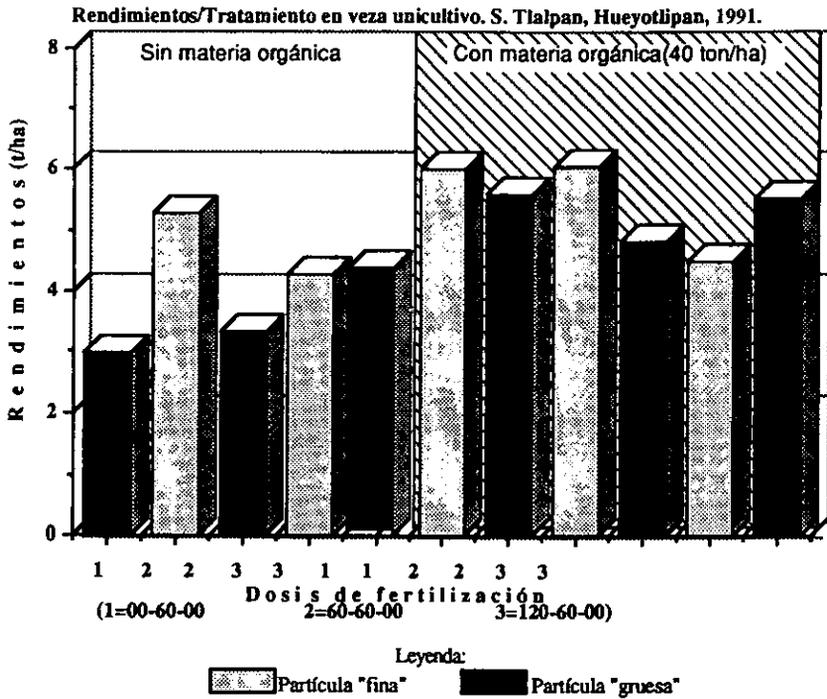
6.4.1.1. Trigo monocultivo. En general los rendimientos obtenidos en la mayoría de los tratamientos superó las 2 ton/ha que es el rendimiento promedio regional. El trigo presentó mayores rendimientos en las parcelas con MO en comparación con aquellas que no se aplicó. Los rendimientos obtenidos en parcelas con dominancia de agregados finos fueron más altos que de parcelas con aquellos con dominancia de agregados gruesos. Las unidades experimentales con mayor proporción de agregados gruesos y que fueron tratadas con la fertilización 120-60-0 (F3) y 60-60-0 (F2), presentaron rendimientos mayores. Estos resultados no se dieron en las parcelas con más agregados

finos y MO, ya que los altos rendimientos en las que aplicaron F1 y F2 se debió, además de la predominancia de la partícula fina, al mayor espesor de su capa arable, así como al hecho de encontrarse en el área baja de la terraza, por lo que recibieron más agua y con ésta, nutrientes de las partes media y alta de la zona experimental (gráfica 12).

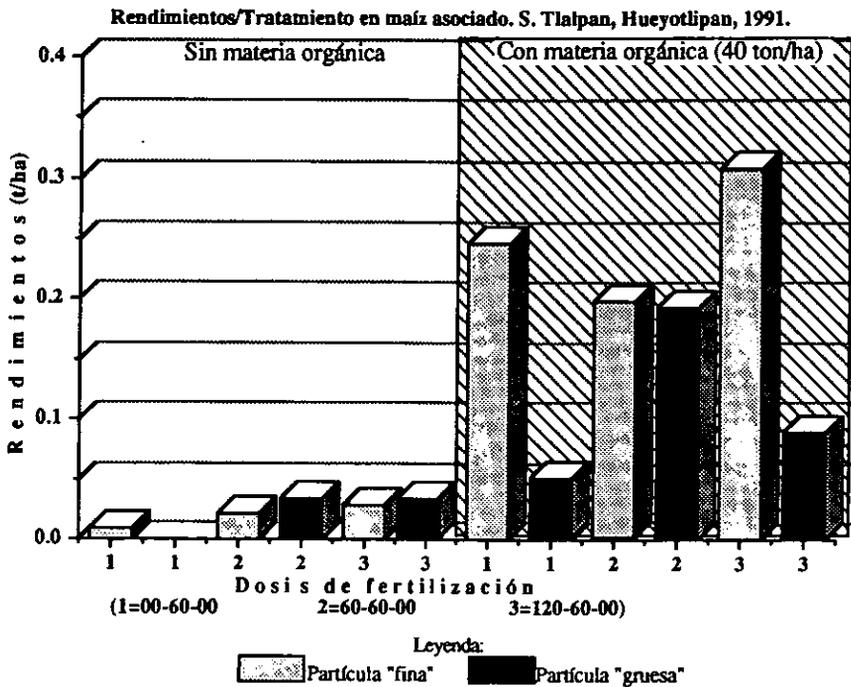


Gráfica 12. Influencia de los tratamientos en los rendimientos estimados de trigo.

6.4.1.2. **Veza unicultivo.** Los rendimientos de la veza, entre 2.8 y 4.8 ton/ha de materia seca, son medios si se consideran los reportados por Moreno *et al.* (1979) (citado por Hernández, 1991) de 7.4 ton/ha para veza sembrada sola. Hay diferencias de producción entre parcelas con estiércol y las que no se les aplicó, las parcelas con MO tuvieron mayores rendimientos. No hubo respuesta debido a la aplicación de las diferentes fertilizaciones. El efecto del tamaño de agregado no fue tan claro en las distintas parcelas. Los mayores rendimientos fueron con MO, siendo los más altos con F2 y F3 (gráfica 13).



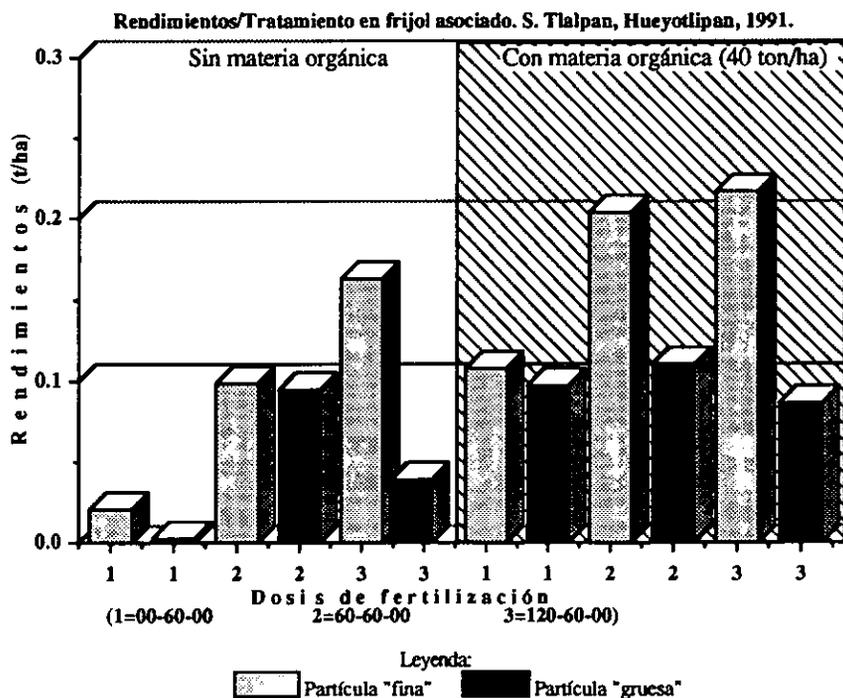
Gráfica 13. Efecto de los tratamientos sobre los rendimientos estimados de veza.



Gráfica 14. Influencia de los tratamientos en los rendimientos estimados de maíz.

6.4.1.3. Asociación Maíz-Frijol-Haba. Maíz asociado. En general, los rendimientos del maíz, de 0 a 0.3 ton/ha, fueron muy bajos si los comparamos con la media de la región, que es de 1.82 ton/ha. La MO proporcionó a las parcelas condiciones más adecuadas, las cuales se expresaron en mayores rendimientos de grano, con respecto de las parcelas sin MO. Los rendimientos de maíz fueron bajos, en las parcelas con MO, pero casi nulos en las parcelas sin MO (gráfica 14). No obstante el frijol y haba asociados tuvieron mayores rendimientos.

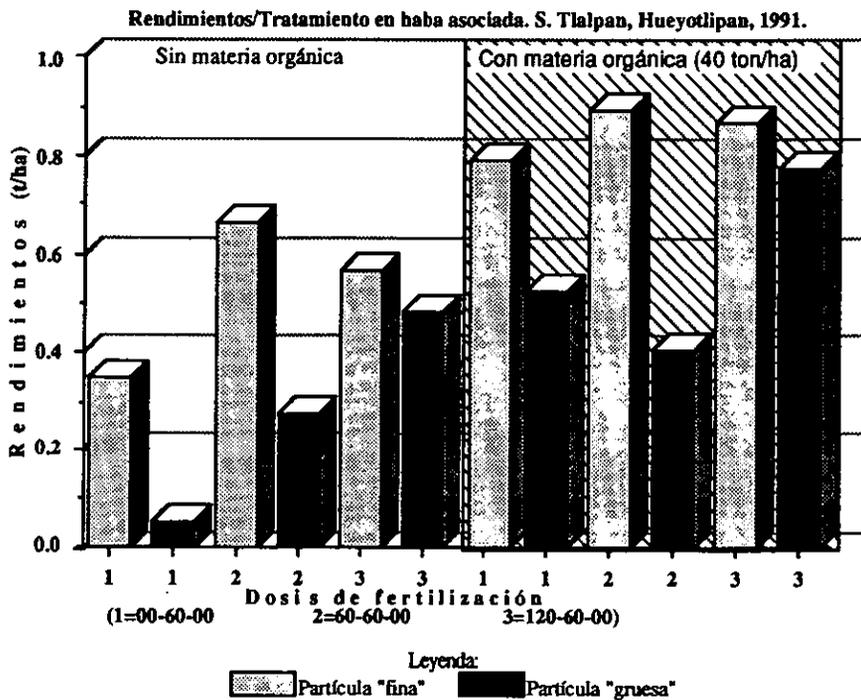
6.4.1.4. Frijol asociado. Los rendimientos, que van de 0.03 a 0.22 ton/ha, son medios a bajos si se considera que la media de la región es de 0.75 ton/ha. La aplicación de MO coadyuvó a obtener mayores rendimientos de frijol. Las parcelas con predominancia de agregados finos tuvieron rendimientos más altos que aquellas con mayores porcentajes de partículas gruesas. El efecto de las fórmulas de fertilización se aprecia más en parcelas en las que sobresalen los agregados finos (gráfica 15).



Gráfica 15. Influencia de los tratamientos en el rendimiento de frijol.

6.4.1.5. Haba asociada. Los rendimientos de haba, de 0.05 a 0.9 ton/ha, fueron de bajos a medios en relación al promedio regional de 1.33 ton/ha en grano seco. En general los rendimientos de

las parcelas con MO fueron mayores a sus similares sin MO. La producción de las parcelas con predominancia de partículas finas superan a su similar con más partículas gruesas. El mayor rendimiento se obtuvo en las parcelas a las que se les aplicó F2, con y sin MO. En las parcelas sin MO hay una relación directa entre el tamaño de las partículas gruesas y la fórmula de fertilización, presentando mayores rendimientos las parcelas con F3. Con respecto a las unidades experimentales con MO, las parcelas con predominancia de partículas gruesas tuvieron un comportamiento irregular, situación menos evidente en las parcelas con mayor porcentaje de partículas finas (gráfica 16).



Gráfica 16. Influencia de los tratamientos sobre el rendimiento de haba.

Así entonces, de acuerdo al análisis comparativo se tiene que:

Los resultados obtenidos en este primer año de cultivo son preliminares si se considera que la duración del proyecto global es de 3 a 4 años. Después de tener los resultados de todos los años se estará en posibilidad de proponer un modelo de manejo para la incorporación de los tepetates a la producción agrícola.

- La mayor proporción de partículas finas en combinación con espesor de 40 a 80 cm de la capa arable y la posición en la parte baja de la terraza, tuvieron un efecto determinante en el

comportamiento de 4 de las 5 especies cultivadas, por lo que podría considerarse que un factor importante es el tipo de roturación. Aquí hay que señalar la conveniencia de abrir líneas de investigación que tengan como variable a estudiar el tipo de roturación, contemplando también un análisis económico.

- El segundo elemento determinante fue la aplicación del estiércol; las parcelas donde se aplicó este material tuvieron mayores rendimientos en comparación de las unidades experimentales sin estiércol. Para los niveles de los rendimientos obtenidos, las 40 ton/ha fueron suficientes. Habría que probar con dosis hacia arriba y hacia abajo de ésta para determinar la certeza de esta conclusión.

- En general, los rendimientos, de los tratamientos con F2 fueron casi iguales a los rendimientos con F3, mientras que en unos pocos fue mayor y en los menos la F3 superó a la F2.

- De las especies cultivadas, las que mejor comportamiento mostraron son: trigo, haba y veza. Sugerimos tomarlos en cuenta como cultivos de primer año en tepetates, aunque faltaría precisar densidades óptimas de siembra, tipos de siembra más adecuados -sobre todo para la veza- así como el comportamiento de estas especies en unicultivo y/o en condiciones de sequeña.

- El comportamiento de la asociación maíz-frijol-haba en general se consideró regular, ya que de las tres especies se obtuvieron producciones, aún con tendencia a ser bajas. Es claro que el maíz fue el que menos rindió y que el haba la que mejores rendimientos tuvo. Es probable que la variedad de maíz utilizada no fue la adecuada. Faltó incluir tratamientos con estos cultivos solos, para evaluar y comparar su comportamiento con respecto de la asociación. Otro aspecto importante que debe realizarse al mismo tiempo, es ensayar con la variedad genética de la región, para determinar las más aptas para el tepetate, solas o en asociación.

6.4.2. Análisis estadístico.

En esta técnica se recurrió a la conjunción del análisis de varianza con el análisis de regresión. Para trigo unicultivo se realizó también análisis de correlación.

6.4.2.1. Trigo en unicultivo. Durante el proceso de trabajo, y como se comentó en la parte de materiales y métodos, se dió seguimiento de floración en trigo, maíz, frijol y haba; así mismo se determinó la materia seca a la floración de las especies mencionadas; además se realizó seguimiento de la emisión de hojas en maíz. Los resultados de estas observaciones, así como el de la asociación no inoculada, no se presentan en la presente Tesis; sólo consideraremos los resultados de la cosecha en los unicultivos de trigo y veza, y en la asociación inoculada.

Como consideramos importante, pasamos a comentar brevemente los diferentes pasos que se tuvieron que dar para llegar al modelo que mejor nos explican lo que aconteció en nuestra parcela experimental. El procedimiento más detallado se encuentra en el anexo 1.

Antes de utilizar los estadísticos referentes al análisis de diseños experimentales, se recurre a: obtener gráficas (entre rendimiento y sus componentes) para saber si el modelo buscado es de

tendencia lineal, cuadrática o polinomial; a partir de esto, se hecha mano de el análisis de varianza para parcelas divididas, incluyendo la técnica de las covariables, y del análisis de regresión.

Iniciamos con el rendimiento económico en trigo unicultivo. Ya considerando el diseño en parcelas divididas, iniciamos con un modelo para análisis estadístico, que consideró las siguientes fuentes de variación: Repeticiones (Re), Materia Orgánica (MO), Fertilizaciones (F) y los tres sistemas de cultivo (SC); un modelo en el que también se incluyó la prueba de hipótesis, y la prueba de Tukey. La significancia del modelo resultó ser baja (0.0624), R^2 aceptable (0.7777) y un buen Coeficiente de Variación (34.34909). La significancia de "Bloques" (B1) es alta y de "Materia orgánica" (MO) media a baja; se presenta confusión entre las tres dosis de fertilización (F) y los tres sistemas de cultivo (SC).

Mediante la técnica de Papadopolus (uso de los residuales) se llega a definir la nueva covariable, determinada por la influencia "suelo". Este nuevo ordenamiento difiere del establecido en el diseño experimental original. Este bloqueo original es de alguna manera corroborado en los resultados de profundidad de la capa arable. Por otro lado, si comparamos el "rebloqueo" con los resultados de granulometría (D50), se podrá constatar que también existen diferencias. En campo se realizaron dos observaciones de superficie para determinar, parcela por parcela, el tamaño de agregado que predominaba. De los esquemas obtenidos de estas dos observaciones, y sobre todo la segunda, se aprecian más semejanzas con el esquema del rebloqueo.

El mejor modelo, hasta este paso, (altamente significativo, con 0.0001; R^2 de 0.840017; C.V. de 22.85917; cuadrado medio del error de 0.4850202), es el que considera a los factores MO, F, MOF y C2 (el primero y el último altamente significativo; los otros dos, significativos). Así es que las covariables B1, B2, y F2 no fueron lo suficientemente útiles para explicar la variabilidad de los tratamientos.

Se crearon otros modelos para relacionar las variables creadas X1R y XRR con X3, X4, X5 y X6; en análisis de regresión y en gráficas. La intención de esto fue continuar con el análisis de regresión para los componentes de rendimiento que en el análisis de correlación resultaron poco o muy poco interrelacionados. Al final, consideramos no incluirlo (tal vez falta completar la función de las covariables X1R y X1RR).

Luego este modelo se mejoró considerando: el factor bloques, que se incorpora como B1 y B2; el error de parcela grande (MO), o sea, integrando B1*MO y B2*MO; el factor fertilización se reconsidera como F.75 (cuadro 13).

Cuadro 13. Resultados del análisis estadístico en trigo.
 ANALISIS ESTADISTICO DE TRIGO. SANTIAGO TLALPAN, TLAXCALA.
 General Linear Models Procedure
 Number of observations in data set = 18

Dependent Variable: X1

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	8	34.23973093	4.27996637	7.51	0.0033
Error	9	5.13011907	0.57001323		
Corrected Total	17	39.36985000			
	R-Square	C. V.	Root MSE		X1 Mean
	0.869694	24.7949	0.754992		3.04500000

Según los resultados de la corrida estadística de este modelo, se tiene que:

Los factores altamente significativos son B1 (0.0003); los factores significativos son MO (0.0213), C2 (0.0306), y B2MO (0.0772).

A este modelo resultante se le adicionó, como ya se dijo, la variable F.75; los resultados son todavía mejores. En los elementos del modelo no hay diferencias importantes con respecto del anterior. En la significancia de los factores si tenemos cambios importantes:

Factores con alta significancia, B1 (0.0003); factores significativos, MO (0.0209), C2 (0.0304), F.75 (0.0317) y B2MO (0.0763).

Para el cálculo de la significancia en la parcela grande, la del factor MO, recurrimos a la siguiente fórmula:

$$\text{Type III SS de MO} / \text{Type III SS de } ((B1MO+B2MO)/2).$$

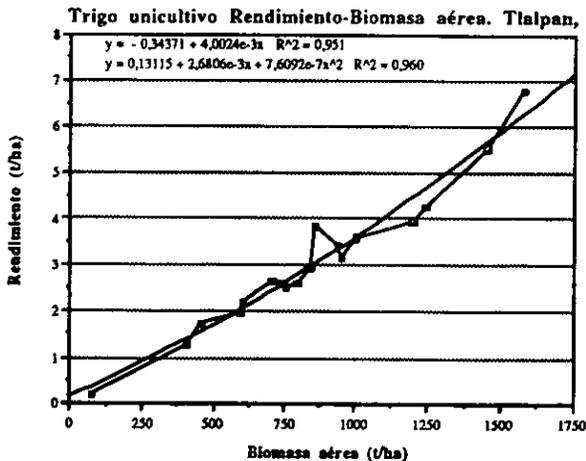
Para nuestro caso sería así:

$5.80228048 / ((0.50598743+0.01357879)/2) = 22.34$. Este resultado; al consultar la tabla de F, resulta significativo.

Una vez obtenido el mejor modelo estadístico, pasamos a determinar la relación entre el rendimiento y sus componentes de las especies propuestas.

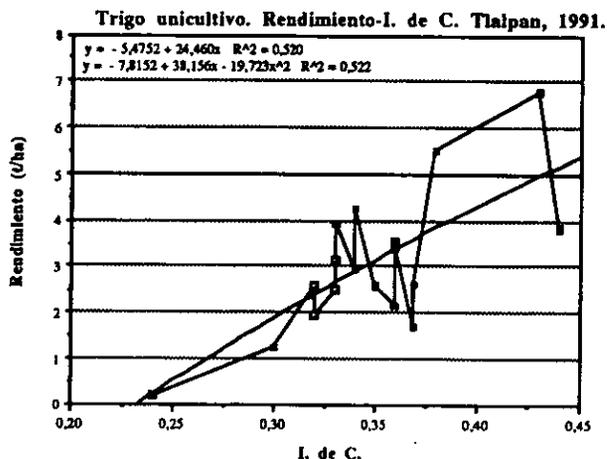
¿Cuál o cuáles de los componentes del rendimiento influyeron más sobre éste?. Primero vamos a considerar las gráficas, para más adelante analizar los resultados del análisis de regresión.

Existe una relación directa y positiva entre el rendimiento económico y el rendimiento biológico o biomasa aérea. La función polinomial a la dos es ligeramente mejor que la lineal (gráfica 17).



Gráfica 17. Relación entre el rendimiento económico y la biomasa aérea

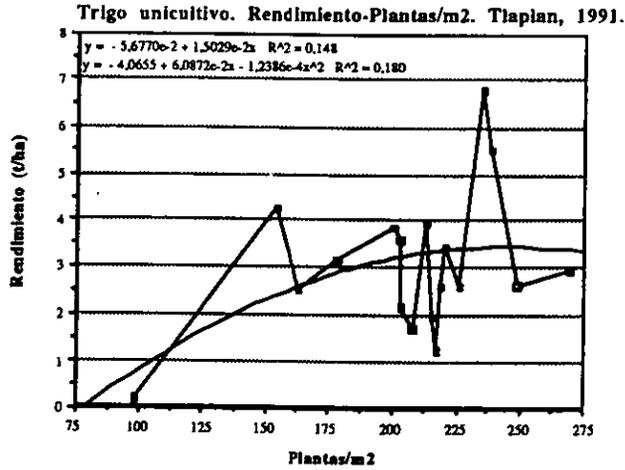
Entre el rendimiento y el índice de cosecha se aprecia una cierta tendencia positiva, solo que al centro la gráfica es poco clara. La interrelación es escasa; ni la función lineal ni la polinomial a los dos alcanzan a explicar esta. Para tener una mejor explicación de esta interrelación habría que aplicar una función polinomial a la cinco, pues así se obtendría una R^2 de 0.730 (gráfica 18).



Gráfica 18. Relación del rendimiento con el I. de C.

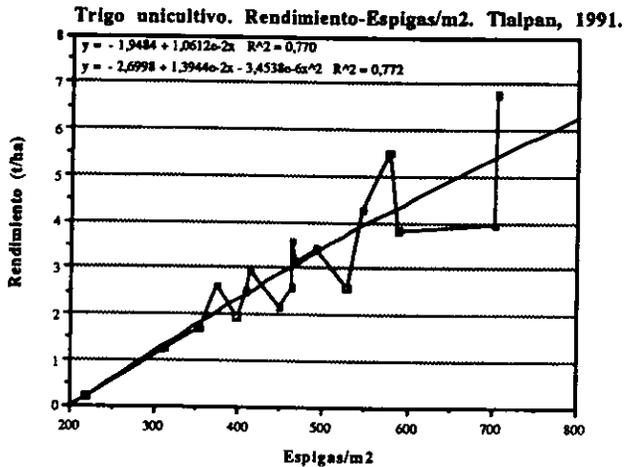
Entre el rendimiento y las plantas/m², es más confusa la relación. De hecho, las funciones lineal y cuadrática no son útiles; es más, si planteáramos una función polinomial a la quinta potencia, el

resultado en R^2 apenas llegaría al 0.4, situación poco explicativa de la interrelación de estas dos variables (gráfica 19).



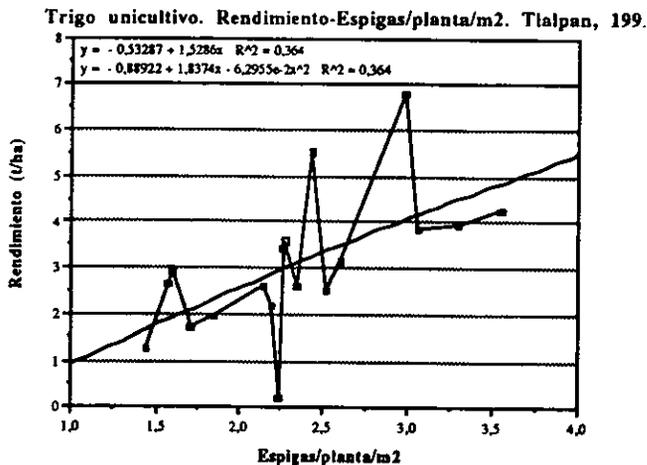
Gráfica 19. Relación rendimiento-Plantas/m²

Entre el rendimiento y las espigas/m², se da más claramente una relación directa y positiva; basta con ver el resultado en R^2 , explicando la interrelación entre estas dos variables en más del 75% (gráfica 20).



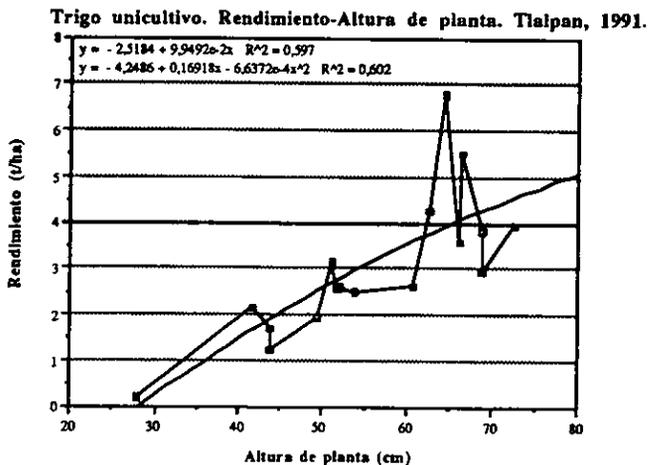
Gráfica 20. Relación entre rendimiento y espigas/m².

Entre el rendimiento y las espigas/planta/m², aunque menos clara hay esa relación directa y positiva; para tener una mayor explicación de esta interrelación, habría que usar una función polinomial a la cinco; y apenas la R² llegaría al resultado de 0.496 (gráfica 21).



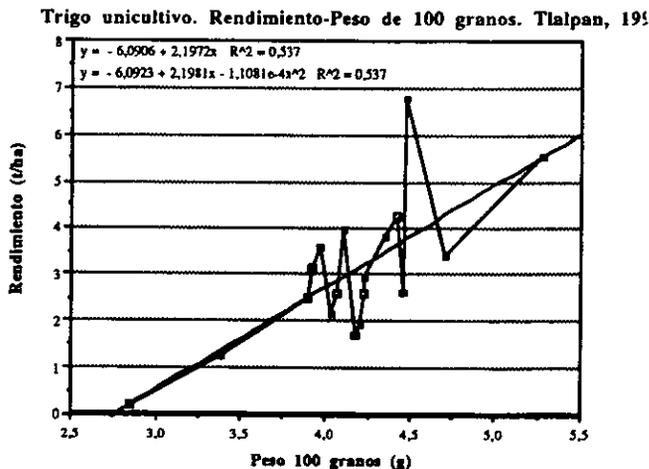
Gráfica 21. Relación entre rendimiento y las espigas/planta.

Entre el rendimiento y la altura promedio de planta, todavía más clara la relación si comparamos con respecto de los dos componentes últimos; es directa y positiva, aunque la R² nos explica poco más de la mitad de la interrelación entre las dos variables, no encontraríamos mucho si se aplicara una función a la cinco, ya que la R² de ésta sería apenas de 0.675 (gráfica 22).



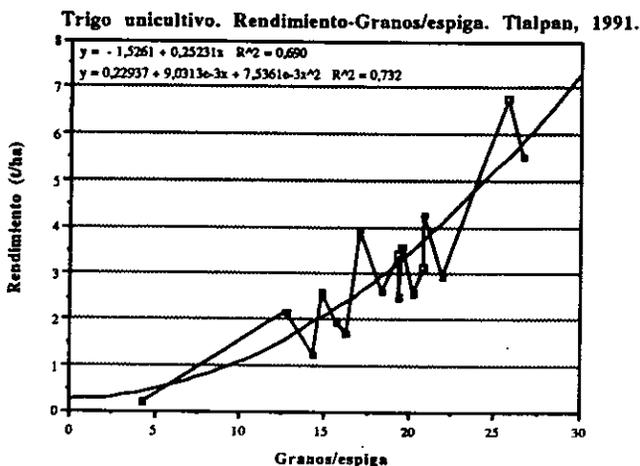
Gráfica 22. Relación rendimiento con altura de planta.

Entre el rendimiento y el peso promedio de 100 granos es menos clara la relación, aunque apreciándose todavía lo directo y positivo de la recta; el grado de explicación de las funciones lineal y cuadrática no es del todo adecuado; aún si la función polinomial fuera a la cinco el resultado en R^2 sería 0.558; si se aplicara una función exponencial, la R^2 tendría un resultado de 0.668 (gráfica 23).



Gráfica 23 Relación rendimiento y peso de 100 granos.

Entre el rendimiento y el número de granos/espiga la relación es también directa y positiva, aparentemente no es clara; al obtener las funciones vemos que los resultados mejoran con la función polinomial a la dos; y que la misma polinomial a la cinco produce una R^2 de 0.760; y que una función exponencial apenas alcanza el 0.786 para la R^2 (gráfica 24).



Gráfica 24. Relación rendimiento con granos/espiga.

Y si nos referimos a los resultados de la interrelación entre el rendimiento y los componentes, es decir, al análisis de correlación en sí, tenemos lo siguiente:

Los componentes que están altamente correlacionados con el rendimiento son: biomasa aérea (0.0001); espigas/m² (0.0001); y granos/espiga (0.0001). Si comparamos las gráficas en las que se relacionan a estos tres componentes con el rendimiento, con los resultados de correlación, consideraríamos convalidada la mayor interdependencia entre el rendimiento y la biomasa aérea, espigas/m² y granos/espiga. A estos componentes le siguen altura promedio de planta (0.0003); peso promedio de 100 granos (0.0005); y espigas/m² (0.0007). Espigas/planta/m² (0.0081) y plantas/m² (0.1156) son componentes que no influyeron al rendimiento obtenido (ver cuadro 14).

Cuadro 14. Análisis de correlación entre el rendimiento y nueve de sus componentes.

Variables	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	X9
X1	1.00000	0.97531	0.72144	0.38408	0.87733	0.60293	0.77254	0.73310	0.83049
Correlación	0.0	0.0001	0.0007	0.1156	0.0001	0.0081	0.0003	0.0005	0.0001
Observaciones	18	18	18	18	18	18	17	18	18

X1=Rendimiento. X2=Biomasa aérea. X3=Índice de cosecha. X4=Plantas/m². X5=Espigas/m². X6=Espigas/planta. X7=Altura de planta. X8=Peso 100 granos. X9=Granos/espiga.

El análisis estadístico en trigo unicultivo nos indica elementos importantes. Las condiciones en las que se desarrolló el experimento nos indicaron no obviar la influencia de los factores originalmente no considerados en el diseño propuesto en el protocolo de la investigación. Los mismos rendimientos demostraban que algo no funcionaba bien en el análisis realizado. Desde muchos puntos de vista no debían presentarse resultados a la ligera solo para cubrir requisitos personales o de grupo. Que era necesario oficializar los resultados, no cabe duda; que también era imperioso presentar resultados confiables y potencialmente reproducibles en condiciones similares, constituía nuestro deber.

Al pasar por todos los intentos, eliminaciones, inclusiones y combinaciones, llegamos a determinar la necesidad de usar conjuntamente el análisis de varianza con el análisis de regresión.

El análisis de varianza se utilizó para determinar el mejor modelo explicativo de los resultados obtenidos. Con este modelo se determinó la interrelación entre los componentes y su rendimiento y entre estos y los factores.

Si no se hubiera recurrido al uso de las covariables difícilmente podríamos haber llegado a tener análisis estadísticos confiables.

El rebloqueo planteado es conformado según el comportamiento productivo del trigo unicultivo; éste lógicamente difiere del bloqueo original; difiere también del bloqueo obtenido por la profundidad de capa arable (muy similar al bloqueo original); el rebloqueo coincide más con el bloqueo obtenido de los resultados del D50 (granulometría). Las dos observaciones de campo se asemejan al rebloqueo, sobre todo la segunda (luego de la siembra). Al parecer la profundidad de la capa arable no está determinando el comportamiento productivo de, por lo menos el trigo. El tamaño del agregado si está

teniendo mayor incidencia; esto se comprueba con los resultados de los muestreos, apoyado por las observaciones de campo.

Aunque hay este acercamiento entre el rebloqueo y los resultados de la granulometría, en el análisis estadístico este factor es no significativo. Es probable que hayan otros factores que conjuntamente con el tamaño de agregado interactuaron para determinar el comportamiento productivo del trigo. De los factores conocidos están el bloqueo, o mejor dicho el rebloqueo, la fertilización mineral, y apenas pasando, la interacción bloque*fertilización orgánica, y la fertilización orgánica. Pareciera que el factor de más peso es la fertilización mineral; aunque de cerca está la fertilización orgánica y la interacción; esto sin considerar algunos otros factores que no fueron cuantificados.

Al considerar la relación entre el rendimiento y sus diferentes componentes cuantificados, vemos que el comportamiento productivo del trigo fue mayormente determinado por el número de espigas/m², el número de granos por espiga también contribuyó, aunque con menor peso específico.

6.3.2.2. Asociación Maíz-Frijol-Haba. Maíz asociado. Se considerara cada especie por separado para después tomar la asociación como tal. La serie de modelos ensayados para trigo unicultivo sirvieron también para abreviar el recorrido de análisis estadístico de los otros sistemas de cultivo.

Cabe considerar que el comportamiento productivo del maíz es casi nulo (0.09 t/ha en promedio); sin embargo es necesario determinar la influencia de los factores en estos rendimientos.

En maíz (en frijol y en haba también) se solicitaron primeramente los estadísticos descriptivos básicos, al tiempo de las gráficas de las diferentes variables de respuesta con respecto de los factores. Así se comenzó a delinear el modelo explicativo; se quitaron las funciones cuadráticas; se integró en uno de los modelos la covariable PG=MO, la cual no se consideró en los modelos del análisis estadístico del trigo.

El modelo más adecuado es $X_1 = B_1 B_2 MO B_1MO B_2MO$. La significancia del modelo es alta (0.0009); buenos resultados para el cuadrado medio (0.00276172) y R^2 (0.789472), no así para el coeficiente de variación (58.90023).

Los factores con significancia son B1 (0.0474) y B1MO (0.0306). El cálculo del error en la parcela grande indica que ésta (MO) es no significativa al 10%.

6.4.2.3. Frijol asociado. Luego de obtener los estadísticos descriptivos y las gráficas componentes de rendimiento-factores, y de obtener varios modelos tentativos, se llegó al modelo que mejor nos explica los resultados de producción en frijol asociado. Este modelo es $X_1 = B_1 B_2 MO B_1MO B_2MO F F_2$. La significancia del modelo es alta (0.0079); buenos resultados para el cuadrado medio (0.00126802) y R^2 (0.795644), y para el coeficiente de variación (37.20066).

Los factores con alta significancia son F (0.0065); B1 apenas la significancia (0.0683). El cálculo del error en la parcela grande indica que esta (MO) es significativa al 5%.

6.4.2.4. Haba asociada. Al igual que los rendimientos de maíz y de frijol, para los de haba asociada se obtuvieron los estadísticos descriptivos, las gráficas, se probaron algunas covariables con varios modelos, llegando al que mejor explica el comportamiento productivo de la haba asociada: $X1=B1 B2 MO B1MO B2MO F$. La significancia del modelo es alta (0.0009); buenos resultados para el cuadrado medio (0.02922536) y R^2 (0.833223), y para el coeficiente de variación (30.45805).

Los factores con alta significancia son B1 (0.0001); F (0.0234) significativa, y B1MO (0.0624) apenas significativa. El cálculo del error en la parcela grande indica que este (MO) es no significativa al 5%.

Al parecer la acción de los factores, controlados o no, es diferencial para cada una de las especies que intervienen en esta asociación.

Los factores que se repiten, en diferente condición de significancia, son B1, F y B1MO. La MO es significativa solo para el frijol.

Esta acción diferencial se ve reflejada en los rendimientos económicos de cada una de las especies. Los resultados del análisis estadístico en haba, especie que mejores rendimientos reportó, se presentan más completos.

6.4.2.5. Asociación Maíz-Frijol-Haba. Se sumaron los rendimientos de grano de las tres especies por parcela experimental. Con este único resultado se comenzó lo hecho en las especies por separado, es decir, a obtener las gráficas, incluir algunas covariables y probar con varios modelos. Es probable que para realizar el análisis estadístico de esta asociación triple, incluso de cualquier sistema de cultivo en el que participan más de una especie, se requiera de acciones más complejas; para efecto de determinar la tendencia de los resultados se hizo sólo la adición de los rendimientos de grano, quedando por considerar los otros componentes de rendimiento de que disponemos. Y con esta misma idea, para eliminar las diferencias inherentes a los mismos rendimientos de grano, se pasaron los resultados a unidades comunes o, podríamos decir que estándar. La unidad común serán los pesos monetarios. Los rendimientos de grano se pasaron a rendimientos en dinero. Con esta conversión se continuó con el ensayo para determinar el mejor modelo estadístico.

Para la asociación Maíz-Frijol-Haba se considera el siguiente modelo como el más explicativo del rendimiento expresado en dinero:

Model $X1= B1 B2 MO B1MO B2MO F F2 MOF MOF2/P$. Los resultados del modelo son adecuados, ya que es alta la significancia (0.0042); el cuadrado medio es de 2270472.8; la R^2 (0.896975) y el C.V. (27.36672), también con buenos resultados.

Los factores con alta significancia son B1 (0.0003) y F (0.0144); y B1MO (0.0519) apenas significativa. El cálculo del error en la parcela grande indica que este (MO) es no significativa al 5%.

De acuerdo al mejor modelo explicativo, tenemos los mismos factores que aparecen en los análisis de las especies separadas, con diferente posición. Se asemeja más a los resultados del haba.

De acuerdo a los resultados podríamos considerar que el bloqueo original fue el adecuado; recordemos que la asociación creció en la parte complementaria del área experimental, con respecto del trigo y de la veza unicultivos.

Faltaría por determinar la relación del rendimiento con sus componentes.

6.4.2.6. Veza unicultivo. Al igual que las otras especies, en veza unicultivo se probaron algunos modelos junto con algunas covariables, resultando el más explicativo el siguiente:

Model $X_1 = B_1 B_2 MO B_1 MO B_2 MO F MOF/P$. La significancia del modelo es buena (0.0123); y los resultados de los otros elementos del modelo también lo son: Cuadrado medio (0.32698829); R^2 (0.774247) y C.V. (15.46575).

El único factor con significancia, es la interacción MOF (0.0494). El cálculo del error en la parcela grande indica que este (MO) es significativa al 5%.

Durante el sorteo de las parcelas experimentales, es decir, donde iban a ubicarse cada tratamiento y sus repeticiones, a la veza unicultivo le toco la situación más desfavorable puesto que: se trataba de parcelas individuales y no dobles como las otros sistemas de cultivo; el arreglo de la veza unicultivo fue en bloques incompletos por falta de espacio. Es probable que esta situación influyó en los resultados del análisis estadísticos. Vemos que aunque la R^2 es buena, le falto; vemos que solo un factor (MO) es significativo, junto a la interacción MOF. Se deja casi un cuarto de la variabilidad a la acción azarosa de uno o varios factores no controlados.

CAPITULO 7. CONCLUSIONES

7.1. DEL CLIMA.

- Los eventos climáticos fueron favorables para el establecimiento, desarrollo y producción de los sistemas de cultivo.

7.2. DE LA ROTURACION.

- El tiempo de la roturación fue cinco veces más que el usualmente empleado, por las exigencias del experimento mismo. La terraza conformada fue de buen tamaño, pero se generaron áreas con predominancia de partículas gruesas y áreas con predominancia de partículas finas en la cama de siembra.

- Es recomendable dejar lo más mullido posible el tepetate recién roturado.

7.3. DEL ANALISIS COMPARATIVO.

- Aunque preliminares, los resultados obtenidos en el primer año de cultivo en un tepetate recién roturado son una base para los siguientes años.

- La roturación del tepetate fue desigual; las zonas de buena capa arable y agregados "finos" deben procurarse en roturaciones posteriores.

- La partícula o agregado "fino" proporciona a los sistemas de cultivo mejores condiciones de desarrollo.

- El uso del estiércol de bovino es recomendable para incorporar un tepetate a la producción agrícola.

- La mejor dosis de fertilización fue la intermedia: 60-60-00.

- Las especies que mostraron mejor comportamiento productivo fueron el trigo, el haba y la veza.

- Los unicultivos tuvieron buenos rendimientos; la asociación tuvo un comportamiento regular.

7.4 DEL ANALISIS ESTADISTICO.

- Ante resultados "raros", es recomendable buscar los modelos de análisis de datos que mejor nos expliquen la situación.

7.4.1. En trigo.

- Al parecer la profundidad de la capa arable no está determinando el comportamiento productivo de, por lo menos el trigo; el tamaño del agregado sí está teniendo mayor incidencia. De los factores conocidos están el bloqueo, o mejor dicho el rebloqueo, la fertilización mineral, y apenas pasando, la interacción bloqueo*fertilización orgánica, y la fertilización orgánica. El comportamiento productivo

del trigo fue mayormente determinado por el número de espigas/m², el número de granos por espiga también contribuyó, aunque con menor peso específico.

7.4.2. En la asociación maíz-frijol-haba.

- Es complejo el análisis; la incidencia de los factores es diferencial en cada una de las especies de la asociación. Si consideramos a la asociación como tal, se da más uniformidad en el análisis; el bloqueo original fue el adecuado. Faltaría por determinar la relación del rendimiento con sus componentes.

7.4.3. En la veza unicultivo.

- Repercutió en sus resultados la distribución de bloques incompletos.
- La incorporación de los residuos de cosecha va a enriquecer al tepetate.

7.5. DE LA INTERACCION CON EL PRODUCTOR.

- La constante interrelación con los productores de la comunidad nos permitió adecuar el experimento al contexto de la región, lo que es importante para la generación de recomendaciones adecuadas.

- Retomar la tecnología del campesino y mejorarla es indispensable en cualquier experimento. La recuperación del tepetate con base en los residuos que se generen conducen a un equilibrio entre la naturaleza y la actividad humana en ellos.

CAPITULO 8. ANEXOS.

ANEXO 1.

Sobre la búsqueda del modelo estadístico que nos explique mejor el comportamiento de las especies en función de los tratamientos.

Ya considerando el diseño en parcelas divididas, iniciamos con un modelo para análisis estadístico, que consideró las siguientes fuentes de variación: Repeticiones (Re), Materia Orgánica (MO), Fertilizaciones (F) y los tres sistemas de cultivo (SC); un modelo en el que también se incluyó la prueba de hipótesis, y la prueba de Tukey. La significancia del modelo resultó ser baja (0.0624), R^2 aceptable (0.7777) y un buen Coeficiente de Variación (34.34909). La significancia de "Bloques" (Bl) es alta y de "Materia orgánica" (MO) media a baja; se presenta confusión entre las tres dosis de fertilización (F) y los tres sistemas de cultivo (SC).

Se hicieron adecuaciones sobre todo al factor "SC" y se cambia de PROC GLM a PROC ANOVA: no resultó (al parecer las medias están confundidas con el modelo). Luego se eliminó el factor "SC": mejoró mucho la significancia del modelo, se obtienen las pruebas de hipótesis y los parámetros descriptivos (valores mínimos, máximos, media y desviación estándar) de los tratamientos, aunque sigue sin aparecer la prueba de medias; luego de varias adecuaciones en el modelo estas se obtienen, sólo que no hay diferencias estadísticas entre tratamientos; se opta por seguir otro camino.

Antes de utilizar los estadísticos referentes al análisis de diseños experimentales, se recurre a: obtener gráficas (entre rendimiento y sus componentes) para saber si el modelo buscado es de tendencia lineal, cuadrática o polinomial; a partir de esto, se hecha mano de el análisis de varianza para parcelas divididas, incluyendo la técnica de las covariables, y del análisis de regresión.

En el siguiente modelo se integró el factor "Tratamiento" (Tr) y las gráficas de las variables de respuesta con respecto de los factores MO y F. Las gráficas obtenidas no son claras, muchas observaciones escondidas; no representan fuente de información; solo obtuvimos gráficas pero no medias. Después se realizaron varios cambios en el modelo, y así se obtienen los estadísticos descriptivos, y las gráficas que muestran ciertas tendencias lineales a cuadráticas (Salida TRI1F). Si las líneas de las gráficas fueran paralelas, no hay ninguna relación entre éstas; si hay cruces existe correlación; esto nos ayuda a elaborar el programa para poder efectuar análisis de regresión. Este análisis es más preciso que el análisis de varianza, con un sólo inconveniente: el análisis de regresión trabaja con un error, mientras que el análisis de varianza usa los dos errores del diseño de Parcelas divididas (Consulta con el Dr. Volke).

De aquí en adelante, se comienza a considerar el efecto de las covariables. En el nuevo modelo se vuelve a usar el PROC GLM; se integra la covariable F^2 (F cuadrada).

Los resultados de este nuevo modelo son poco explicativos: el grado de significancia del modelo es muy bajo, no hay significancia en ninguno de los factores. En este modelo se solicitan los residuales. Estos residuales se transcriben sobre el croquis de distribución de los tratamientos para determinar si hay influencia "suelo" en los resultados. Si recurrimos al método de Papadopolus (se obtiene la diferencia entre el promedio general del rendimiento y los rendimientos obtenidos por unidad experimental), veremos que los resultados son los mismos que los residuales (cuadro 15).

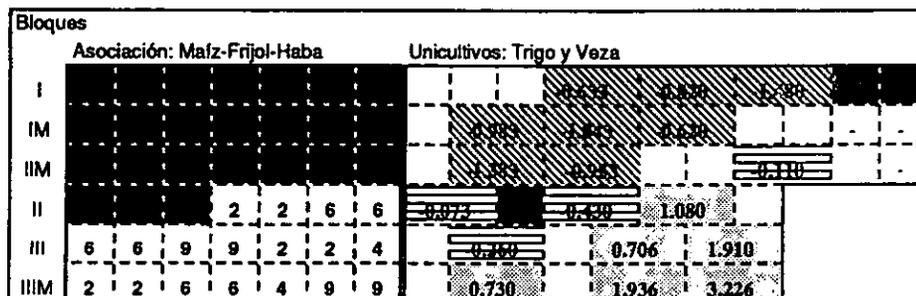
Cuadro 15. Comparación de los residuales obtenidos en el modelo estadístico, con el método de Papadopolus.

Observación	MO (t/ha)	Tratamientos F (unidades)	Bloques	Residuales	Rendimiento	Papadopolus Promedio por tratamiento	Resultado
1	00	00-60-00	1	-1.4800000	0.19	1.670	-1.480
2	00	60-60-00	1	-0.8200000	1.93	2.750	-0.820
3	00	120-60-00	1	-0.6333333	2.59	3.223	-0.633
4	40	00-60-00	1	-1.8433333	1.69	3.533	-1.843
5	40	60-60-00	1	-0.9833333	2.58	3.563	-0.983
6	40	120-60-00	1	-0.6200000	2.91	3.530	-0.620
7	40	00-60-00	2	-1.3833333	2.15	3.533	-1.383
8	40	60-60-00	2	-0.9533333	2.61	3.563	-0.953
9	40	120-60-00	2	-0.1100000	3.42	3.530	-0.110
10	00	00-60-00	2	-0.4300000	1.24	1.670	-0.430
11	00	60-60-00	2	1.0800000	3.83	2.750	1.080
12	00	120-60-00	2	-0.0733333	3.15	3.223	-0.073
13	00	00-60-00	3	1.9100000	3.58	1.670	1.910
14	00	60-60-00	3	-0.2600000	2.49	2.750	-0.260
15	00	120-60-00	3	0.7066667	3.93	3.223	0.707
16	40	00-60-00	3	3.2266667	6.76	3.533	3.227
17	40	60-60-00	3	1.9366667	5.50	3.563	1.937
18	40	120-60-00	3	0.7300000	4.26	3.530	0.730

Teniendo los residuales distribuidos, se establecen intervalos para detectar zonas comunes. Para nuestro caso las zonas van a estar dadas por:

- < -0.5;
- de -0.5 a 0.5 ;
- > 0.5

Figura 4. Distribución de los residuales en trigo unicultivo.



Intervalos que representarían a la covariable C1, y que originan el “bloqueo” representado en la figura 4.

Después, los residuales de cada zona se promedian para obtener un resultado para toda la zona de referencia.

$$\text{Zona 1. } ((-0.633)+(-0.820)+(-1.480)+(-0.983)+(-1.846)+(-0.620)+(-1.383)+(0.953)) /6 = -1.089$$

$$\text{Zona 2. } ((-0.073)+(-0.430)+(-0.260)+(-0.110)) /4 = -0.218$$

$$\text{Zona 3. } ((1.080)+(0.706)+(1.910)+(0.730)+(1.936)+(3.226)) /6 = 1.590$$

Con estos tres resultados “rebloqueamos” los tratamientos. De este “rebloqueo” se determina C2, colocando valores absolutos a las nuevas áreas (figura 5).

Figura 5. Nuevo ordenamiento de las unidades experimentales de acuerdo a los residuales obtenidos.

		SISTEMAS DE CULTIVO																			
B		Asociación: Maíz-Frijol-Haba						Unicultivos: Trigo y Veza						C2							
L	I	[Diagrama de bloques con líneas de puntos]						[Diagrama de bloques con líneas diagonales]						-1							
O	IM													-1.089		-		-		-	
Q	IIM													0		-		-		-	
U	II	2		2		6		6		-		-									
E	III	6		6		9		9		2		2		4							
S	IIIM	2		2		6		6		4		9		9		1					
								1.59													

Así, se llega a definir la nueva covariable, determinada por la influencia “suelo”. Este nuevo ordenamiento difiere del establecido en el diseño experimental original. Este bloqueo original es de alguna manera corroborado en los resultados de profundidad de la capa arable (figura 6). Por otro lado, si comparamos el “rebloqueo” con los resultados de granulometría (D50), se podrá constatar que también existen diferencias (figura 7).

Se puede observar en el croquis de tamaño de agregado que los bloques I y IIIM son típicamente de agregado “grueso” y “fino” respectivamente; que los bloques IM y II son de tamaño de agregado “medio”; mientras que los bloques IIM y III, a juzgar por la gran dispersión de sus intervalos, existe más heterogeneidad entre las parcelas que los forman, aunque la tendencia sea de agregado “grueso” a agregado “fino”.

En campo se realizaron dos observaciones de superficie para determinar, parcela por parcela, el tamaño de agregado que predominaba. De los esquemas obtenidos de estas dos observaciones, y sobre todo la segunda, se aprecian más semejanzas con el esquema del rebloqueo (figuras 8 y 9).

Figura 6. Bloques formados a partir de las mediciones de profundidad de capa arable

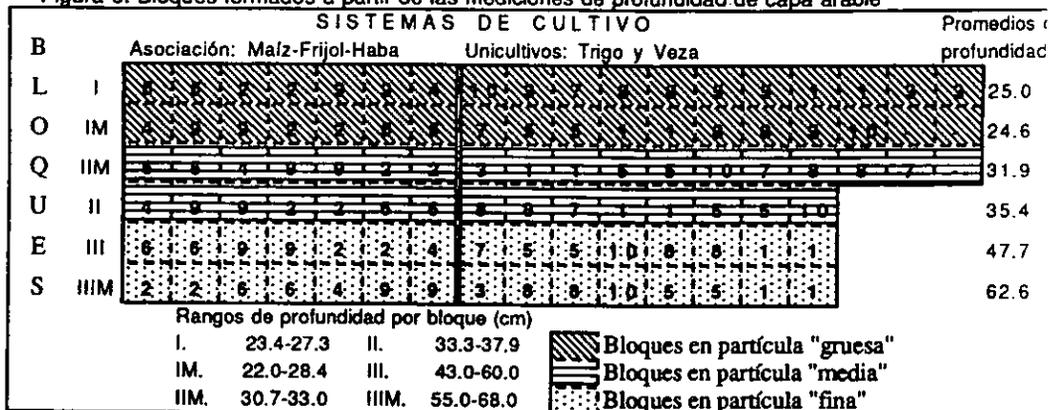
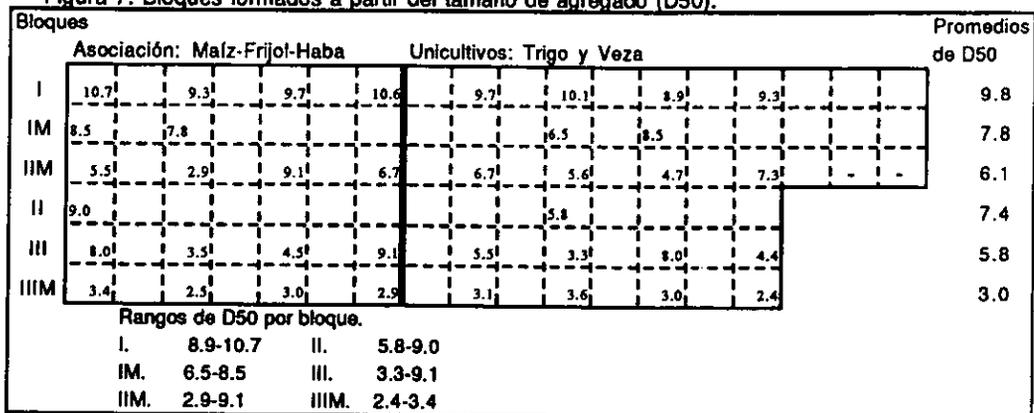


Figura 7. Bloques formados a partir del tamaño de agregado (D50).



Figuras 8. Localización de los tamaños de agregado, según observación del 17 de mayo de 1991.

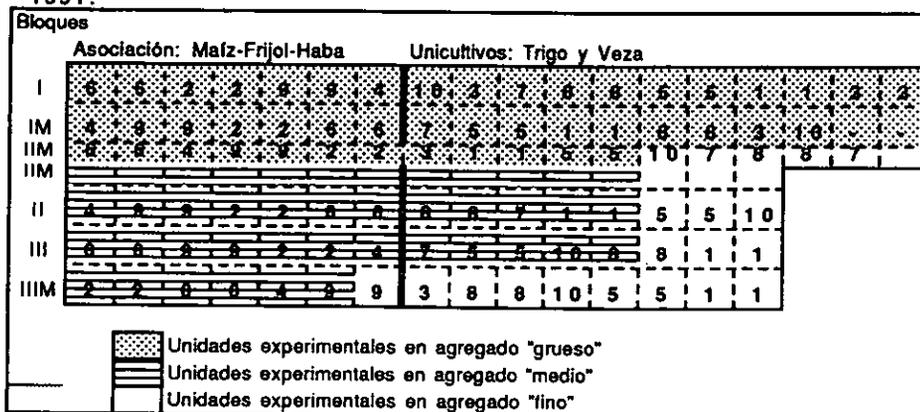


Figura 9. Localización de los tamaños de agregado, según observación hecha el 2 de junio de 1991.



Si fuéramos estrictos en la obtención de datos, nos evitaríamos considerar las dos observaciones hechas al tamaño de agregado superficial; pero vemos que entre estas dos observaciones (hechas por más de dos personas en cada ocasión; la del 17 de mayo fue antes del surcado del terreno, la del 2 de junio, después de la siembra) no hay diferencias importantes entre sí y entre estas y el "rebloqueo"; aunque entre estas dos observaciones y la distribución de las profundidades de capa arable si existen diferencias; entre las dos observaciones y la distribución de los tamaños de agregado las diferencias no son claras. Así que, ambas observaciones del tamaño de agregado superficial, orientaran la distribución del tamaño de agregado.

Continuando con el análisis estadístico, en los siguientes modelos (TRI1H) se integran los factores Profundidad (Pr) y Tamaño de partícula (Pa), los factores creados B1 y B2, y las covariables C1 y C2 (estas últimas, de la distribución de residuales). Además se relaciona el factor Tratamientos (Tr) con las covariables C1 y C2; se continúa con F2 y MOF2.

El modelo para C1 es altamente significativo (0.0050), con buenos resultados en R^2 (0.856107) y CV (26.05515); el cuadrado medio del error es (0.62945090). C1 es altamente significativa (0.0097), lo mismo que B1 (0.0005); MO es significativa (0.0261).

El modelo para C2 también es altamente significativo (0.0042), con buenos resultados en R^2 (0.862050) y CV (25.51138); el cuadrado medio del error es (0.60345147). C2 es altamente significativa (0.0079), lo mismo que B1 (0.0004); MO es significativa (0.0238).

El modelo para Pr es significativo (0.0368) con resultados más altos en R^2 (0.761850) y CV (33.51956); el cuadrado medio del error es (1.04176835). Pr no es significativa (0.1224), B1 es altamente significativa (0.0025); MO es significativa (0.0687).

El modelo para Pa es significativo (0.0314) con resultados más altos en R^2 (0.771624) y CV (32.82455); el cuadrado medio del error es (0.99901516). Pa se ubica en el límite de la significancia (0.0976), B1 es altamente significativa (0.0022); MO es significativa (0.0640).

El modelo entre Tr y C1 es altamente significativo (0.0005) con buenos resultados en R^2 (0.853367) y CV (23.79110); el cuadrado medio del error es (0.52481171). Tr es significativa (0.0526), C1 es altamente significativa (0.0001).

El modelo entre Tr y C2 es altamente significativo (0.0006) con buenos resultados en R^2 (0.848124) y CV (24.21270); el cuadrado medio del error es (0.54357697). Tr es significativa (0.0579), C2 es altamente significativa (0.0001).

También se obtuvieron los LSMEANS (menor cuadrado medio) de los Tratamientos. El resultado es que salvo el tratamiento uno los demás son altamente significativos.

Así que, de acuerdo a estos resultados: la covariable C1 es buena; C2 es mejor todavía; Pr resulta con error experimental muy alto, lo que hace que MO tienda a la no significancia; Pa tiene mejores resultados que Pr pero no lo suficiente para ser considerada. Lo anterior nos indica que la covariable con la que se va a trabajar es la C2. Sin C2, MO ya no es significativa. Así, la covariable que se ha encontrado y que ha dado significancia a alguno de los factores originales, es C2; esta covariable explica las diferencias entre tratamientos sabiendo y/o suponiendo que en ésta se encuentran Pr, Pa y/o humedad edáfica, variables que al fin y al cabo están afectando al rendimiento y sus componentes.

Ya una vez definida la covariable, se asigna el intervalo en el que va a considerarse. Sobre esta covariable se solicitan los residuales con diferentes modelos para análisis estadístico; de esta manera podremos determinar el modelo mejor, es decir, el que explique más la variabilidad de las fuentes o factores.

El mejor modelo (altamente significativo, con 0.0001; R^2 de 0.840017; C.V. de 22.85917; cuadrado medio del error de 0.4850202), es el que considera a los factores MO, F, MOF y C2 (el primero y el último altamente significativo; los otros dos, significativos). Así es que las covariables B1, B2, y F2 no fueron lo suficientemente útiles para explicar la variabilidad de los tratamientos.

Hay dos tipos de análisis de componentes de rendimiento:

a) Considerando los efectos de los tratamientos sobre cada uno de los componentes; es más largo (Análisis de regresión). Es necesario considerar una variable auxiliar (C1 ó C2); es deseable que los resultados con C2 fueran semejantes a los obtenidos con X1.

b) Considerando el efecto de cada uno de los componentes con el rendimiento (Correlación y regresión).

El factor Bloques (B1), que se había omitido, es necesario reintegrarlo al modelo, aunque este no sea significativo; esto es para ajustarse más al diseño de parcelas divididas.

El mejor modelo encontrado se refinó más introduciendo otras covariables.

Se crearon otros modelos para relacionar las variables creadas X1R y XRR con X3, X4, X5 y X6; en análisis de regresión y en gráficas. La intención de esto fue continuar con el análisis de regresión para los componentes de rendimiento que en el análisis de correlación resultaron poco o muy poco interrelacionados. Al final, consideramos no incluirlo (tal vez falta completar la función de las covariables X1R y X1RR).

Luego este modelo se mejoró considerando: el factor bloques, que se incorpora como B1 y B2; el error de parcela grande (MO), o sea, integrando B1*MO y B2*MO; el factor fertilización se reconsidera como F.75.

Así, para determinar cuál o cuales de los factores son los que más determinaron el comportamiento productivo del trigo en unicultivo, se volvieron a realizar varias corridas con distintos factores y covariables. En el transcurso se eliminaron del modelo los factores cuadráticos.

El modelo final fue $X1=B1 B2 MO B1MO B2MO F MOF C2$. En general los resultados en los elementos del modelo fueron bastante buenos. El nivel de significancia del modelo (0.0034); el cuadrado medio (0.57441212), la R^2 (0.868689) y el CV (24.88998) (cuadro).

Cuadro 16. Programa completo (factores, variables y covariables) para análisis estadístico; y evolución de los modelos utilizados para la corrida estadística en trigo.

```

DATA TRIGO1;
INPUT TR MO F BL X1 X2 X3 X4 X5 X6 X7 X8 X9 C1 C2 PR PA;
B1=0; B2=0; IF BL=1 THEN B1=1; IF BL=2 THEN B2=1; IF BL=3 THEN DO;
B1=-1; B2=-1; END;
B1MO=B1*MO; B2MO=B2*MO;
F75=F**0.75;
F=(F-1)*60; F2=F**F; MOF=MO**F; MOF2=MO**F2;
CARDS:
1 0 1 1 0.19 76.65 0.24 98.50 220.71 2.24 27.85 2.85 4.35 -1.09 -1 24.90 9.80
2 0 2 1 1.93 595.96 0.32 215.75 397.50 1.85 49.36 4.21 15.78 -1.09 -1 24.90 9.80
3 0 3 1 2.59 800.02 0.32 226.00 529.64 2.35 52.18 4.23 14.87 -1.09 -1 24.90 9.80
4 1 1 1 1.69 460.76 0.37 208.00 353.22 1.71 43.81 4.18 16.31 -1.09 -1 22.50 7.58
5 1 2 1 2.58 742.39 0.35 219.25 462.86 2.15 51.78 4.07 20.31 -1.09 -1 22.50 7.58
6 1 3 1 2.91 846.70 0.34 269.50 414.65 1.60 68.88 4.24 22.05 -1.09 -1 22.50 7.58
4 1 1 2 2.15 601.95 0.36 203.75 448.93 2.20 41.56 4.04 12.69 -1.09 -1 33.00 6.06
5 1 2 2 2.61 707.45 0.37 248.75 373.93 1.57 60.93 4.46 18.48 -1.09 -1 33.00 6.06
6 1 3 2 3.42 940.68 0.36 220.75 491.79 2.26 47.2 19.34 -0.22 0 33.00 6.06
1 0 1 2 1.24 407.62 0.30 217.50 311.43 1.44 43.83 3.39 14.41 -0.22 0 34.67 7.38
2 0 2 2 3.83 862.48 0.44 200.50 589.64 3.07 68.84 4.36 17.11 1.59 1 34.67 7.38
3 0 3 2 3.15 955.64 0.33 178.50 467.86 2.61 51.30 3.92 20.88 -0.22 0 34.67 7.38
1 0 1 3 3.58 1001.77 0.36 203.00 462.98 2.27 66.16 3.97 19.65 1.59 1 47.67 5.78
2 0 2 3 2.49 757.00 0.33 163.25 408.93 2.53 53.93 3.90 19.41 1.59 0 47.67 5.78
3 0 3 3 3.93 1201.07 0.33 213.25 704.29 3.30 72.75 4.11 17.14 1.59 1 47.67 5.78
4 1 1 3 6.76 1581.14 0.43 235.50 704.94 2.99 64.47 4.48 25.77 1.59 1 62.57 2.98
5 1 2 3 5.50 1456.44 0.38 238.75 579.29 2.44 66.51 5.28 26.64 1.59 1 62.57 2.98
6 1 3 3 4.26 1244.18 0.34 154.50 547.14 3.55 62.69 4.43 20.91 1.59 1 62.57 2.98
PROC PRINT; VAR X1 X2 X3 X4 X5 X6 X7 X8 X9 C1 C2 PR PA;
TITLE 'ANALISIS COMPARATIVO DE TRIGO. SANTIAGO TLALPAN, TLAXCALA.';
/*PROC SORT; BY TR MO F;
PROC MEANS; VAR X1 X2 X3 X4 X5 X6 X7 X8 X9 MO F; BY TR MO F;
OUTPUT OUT=AA MEAN=X1 X2 X3 X4 X5 X6 X7 X8 X9 MO F;

```

```

PROC PRINT DATA=AA;
PROC PLOT DATA=AA;
PLOT (X1-X9)*MO='*';
PLOT (X1-X9)*F='+';*/
/*PROC GLM;
MODEL X1=MO F F2 MOF2/P;
OUTPUT OUT=AA P=YP R=YR;
PROC PLOT; PLOT YR*YP='+'; PLOT YR*(MO F)='+';*/
/*PROC GLM;
MODEL X1=B1 B2 MO F F2 MOF MOF2 C1/P;
PROC GLM;
MODEL X1=B1 B2 MO F F2 MOF MOF2 C2/P;
PROC GLM;
MODEL X1=B1 B2 MO F F2 MOF MOF2 PR/P;*/
/*PROC GLM;
MODEL X1=MO F MOF C2/P;*/
/*PROC GLM;
MODEL X1=B1 B2 MO F F2 C2/P;
PROC GLM;
MODEL X1=B1 B2 MO F C2/P;
PROC GLM;
MODEL X1=B1 B2 MO C2/P;*/
PROC PLOT;
PLOT X1*(X2 X3 X4 X5 X6 X7 X8 X9)='*';
PROC CORR; VAR X1 X2 X3 X4 X5 X6 X7 X8 X9;*/
PROC GLM;
MODEL X1=X3 X5/P;
OUTPUT OUT=A P=X1P R=X1R;
PROC PLOT; PLOT X1R*(X3 X5)='*';*/
/*PROC PLOT; PLOT X1*(X3 X5)='*';
PROC GLM;
MODEL X1=X4 X6/P;
OUTPUT UOT=B P=X1PP R=X1RR;
PROC PLOT; PLOT X1RR*(XA X6)='*';*/
PROC GLM;
MODEL X1=B1 B2 MO B1MO B2MO F MOF C2;
RUN;

```

Sin considerar F75.

ANALISIS ESTADISTICO DE TRIGO. SANTIAGO TLALPAN, TLAXCALA.

General Linear Models Procedure
Number of observations in data set = 18

Dependent Variable: X1

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	8	34.20014091	4.27501761	7.44	0.0034
Error	9	5.16970909	0.57441212		
Corrected Total	17	39.36985000			
	R-Square	C. V.	Root MSE		X1 Mean
	0.868689	24.88998	0.757900		3.04500000

ANALISIS ESTADISTICO DE TRIGO. SANTIAGO TLALPAN, TLAXCALA.
General Linear Models Procedure

Dependent Variable: X1

Source	DF	Type I SS	Mean Square	F Value	Pr > F
B1	1	17.83640833	17.83640833	31.05	0.0003
B2	1	0.87422500	0.87422500	1.52	0.2486
MO	1	4.45013889	4.45013889	7.75	0.0213
B1MO	1	1.36687500	1.36687500	2.38	0.1573
B2MO	1	2.28513611	2.28513611	3.98	0.0772
F	1	1.80187500	1.80187500	3.14	0.1103
MOF	1	1.81740833	1.81740833	3.16	0.1090
C2	1	3.76807424	3.76807424	6.56	0.0306

General Linear Models Procedure

Dependent Variable: X1

Source	DF	Type III SS	Mean Square	F Value	Pr > F
B1	1	0.27069603	0.27069603	0.47	0.5097
B2	1	0.28851313	0.28851313	0.50	0.4964
MO	1	8.51083233	8.51083233	14.82	0.0039
B1MO	1	0.50872519	0.50872519	0.89	0.3712
B2MO	1	0.01485960	0.01485960	0.03	0.8758
F	1	3.61926667	3.61926667	6.30	0.0333
MOF	1	2.96955178	2.96955178	5.17	0.0491
C2	1	3.76807424	3.76807424	6.56	0.0306

El error de la parcela grande, que se calcula de manera independiente, va a estar dado por:

General Linear Models Procedure

Dependent Variable: X1

Parameter	Estimate	T for HO: Parameter=0	Pr > T	Std Error of Estimate
INTERCEPT	1.771111111	4.43	0.0016	0.39944827
B1	0.455858586	0.69	0.5097	0.66405033
B2	-0.285656566	-0.71	0.4964	0.40306326
MO	2.330303030	3.85	0.0039	0.60539409
B1MO	-0.489696970	-0.94	0.3712	0.52035243
B2MO	0.107272727	0.16	0.8758	0.66695647
F	0.012944444	2.51	0.0333	0.00515686
MOF	-0.016954545	-2.27	0.0491	0.00745680
C2	1.016954545	2.56	0.0306	0.55974611

PROC GLM;
MODEL X1=B1 B2 MO B1MO B2MO MOF75 F75 C2;
RUN;

Considerando F75.

ANALISIS ESTADISTICO DE TRIGO. SANTIAGO TLALPAN, TLAXCALA.

General Linear Models Procedure
Number of observations in data set = 18

Dependent Variable: X1

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	8	34.23973093	4.27996637	7.51	0.0033
Error	9	5.13011907	0.57001323		
Corrected Total	17	39.36985000			
	R-Square	C.V.	Root MSE		X1 Mean
	0.869694	24.7949	0.754992		3.04500000

ANALISIS ESTADISTICO DE TRIGO. SANTIAGO TLALPAN, TLAXCALA.

General Linear Models Procedure

Dependent Variable: X1

Source	DF	Type I SS	Mean Square	F Value	Pr > F
B1	1	17.83640833	17.83640833	31.29	0.0003
B2	1	0.87422500	0.87422500	1.53	0.2469
MO	1	4.45013889	4.45013889	7.81	0.0209
B1MO	1	1.36687500	1.36687500	2.40	0.1559
B2MO	1	2.28513611	2.28513611	4.01	0.0763
MOF75	1	0.00000567	0.00000567	0.00	0.9976
F75	1	3.67616408	3.67616408	6.45	0.0317
C2	1	3.75077785	3.75077785	6.58	0.0304

General Linear Models Procedure

Dependent Variable: X1

Source	DF	Type III SS	Mean Square	F Value	Pr > F
B1	1	0.26415214	0.26415214	0.46	0.5132
B2	1	0.28460594	0.28460594	0.50	0.4977
MO	1	5.80228048	5.80228048	10.18	0.0110
B1MO	1	0.50598743	0.50598743	0.89	0.3707
B2MO	1	0.01357879	0.01357879	0.02	0.8807
MOF75	1	2.96985025	2.96985025	5.21	0.0484
F75	1	3.67616408	3.67616408	6.45	0.0317
C2	1	3.75077785	3.75077785	6.58	0.0304

El error de la parcela grande, que se calcula de manera independiente, va a estar dado por: Type III SS de MO / Type III SS de ((B1MO+B2MO)/2). Para nuestro caso sería así:
 $5.80228048 / ((0.50598743+0.01357879)/2) = 22.34$. Este resultado, al consultar la tabla de F, resulta significativo.

Dependent Variable: X1

Parameter	Estimate	T for H0: Parameter=0	Pr > t	Std Error of Estimate
INTERCEPT	0.525824910	0.63	0.5445	0.83501579
B1	0.449666865	0.68	0.5132	0.66055090
B2	-0.283592659	-0.71	0.4977	0.40134279
MO	3.936775790	3.19	0.0110	1.23391087
B1MO	-0.488321032	-0.94	0.3707	0.51829621
B2MO	0.102456944	0.15	0.8807	0.66382461
MOF75	-1.587359050	-2.28	0.0484	0.69542510
F75	1.222634943	2.54	0.0317	0.48143962
C2	1.427444643	2.57	0.0304	0.55646912

Según los resultados de la corrida estadística de este modelo, se tiene que:

Los factores altamente significativos son B1 (0.0003); los factores significativos son MO (0.0213), C2 (0.0306), y B2MO (0.0772).

A este modelo resultante se le adicionó, como ya se dijo, la variable (¿o covariable?) F.75; los resultados son todavía mejores. En los elementos del modelo no hay diferencias importantes con respecto del anterior. En la significancia de los factores si tenemos cambios importantes:

Factores con alta significancia, B1 (0.0003); factores significativos, MO (0.0209), C2 (0.0304), F.75 (0.0317) y B2MO (0.0763).

Para el cálculo de la significancia en la parcela grande, la del factor MO, recurrimos a la siguiente fórmula:

Type III SS de MO / Type III SS de ((B1MO+B2MO)/2).

Para nuestro caso sería así:

$5.80228048 / ((0.50598743+0.01357879)/2) = 22.34$. Este resultado; al consultar la tabla de F, resulta significativo.

CAPITULO 9. BIBLIOGRAFIA

- 1.- **Abreu Gómez, Ermilo (Traductor). 1983.** "Popol Vuh." Ediciones Dante, S.A. Mérida, Yucatán. México. 147 p.
- 2.- **Aldana Martínez, G. 1988.** "San Pablo Ixayoc: Cambio, integración y articulación a la dinámica regional texcocana." Tesis de Licenciatura en Antropología. Social. Universidad Iberoamericana. México, D.F. México. 387 p.
- 3.- **Arias R., Hector M. 1992.** "Rehabilitación de tepetates: una alternativa para la producción agropecuaria y forestal." En: Revista TERRA. Volumen 10. Número especial. Actas del primer Simposio Internacional de Suelos Volcánicos Endurecidos (Uso y manejo de tepetates). Colegio de Postgraduados en Ciencias Agrícolas, Montecillo, México. México. 572 p.
- 4.- **Aykroyd, W. R. y Doughty, Joyce. 1970.** "El trigo en la alimentación humana". Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la alimentación (FAO). Estudios sobre nutrición. Roma, Italia. 186 p.
- 5.- **Baez, A.; Ascencio, E.; Prat, Ch. y Márquez, A. 1996.** "Análisis del comportamiento de cultivos en tepetate t3 incorporado a la agricultura de temporal (1993 a 1995). Texcoco, México." Ponencia presentada en el Tercer Simposio Internacional de Suelos Volcánicos Endurecidos, realizado en Quito, Ecuador.
- 6.- **Bataillon, Claude. 1981.** "Las regiones geográficas de México." Siglo XXI Editores. México, D.F. México.
- 7.- **Baumann, J; Werner, Gerd; Muños Nava, Hipólito; Vera Reyén, Andrea y Flores, Gustavo F. 1991.** "Aspectos sobre el regimen hídrico de tepetates roturados". Ponencia presentada en el Primer simposio Internacional. Suelos volcánicos endurecidos (Uso y manejo de tepetates). Colegio de Postgraduados en Ciencias Agrícolas. Montecillo, México. México.
- 8.- **Baumann, Jurgen; Werner, Gerd; Muños Nava, Hipólito; Vera Reyén, Andrea y Flores, Gustavo F. 1992.** "Mediciones preliminares de la erosión hídrica en el Bloque de Tlaxcala; México." En: Revista TERRA. Volumen 10. Número especial. Actas del primer Simposio Internacional de Suelos Volcánicos Endurecidos (Uso y manejo de tepetates). Colegio de Postgraduados en Ciencias Agrícolas, Montecillo, México. México. 572 p.
- 9.- **Bautista, Jorge. 1991.** (Entrevista). "Algunas recomendaciones tecnico-agronómicos de las especies más sembradas en Santiago Tlalpan, Hueyotlipan, Tlaxcala". Hueyotlipan, Tlaxcala, México. México.
- 10.- **Benitez Vázquez, José Alfredo. 1991.** "Descriptores varietales y caracterización de 10 genotipos de trigo *Triticum aestivum* L., bajo condiciones de campo." Tesis de Licenciatura. Ingeniería Agrícola. Universidad Nacional Autónoma de México. Cuatitlán Izcalli, México. México.
- 11.- **Benitez Martínez, Dionicio. 1993.** "Evaluación de la producción de maíz en tepetate de segundo año". Reporte preliminar. Centro de Estudios del Desarrollo Rural. Colegio de Postgraduados en Ciencias Agrícolas. Montecillo, Texcoco, México. México.

- 12.- **Blanco Macías, Gonzalo. 1972.** "Realizaciones y perspectivas de la conservación de suelos en México." En: Mesas redondas sobre utilización y conservación del suelo en México. Instituto Mexicano de Recursos Naturales Renovables, A.C. México.
- 13.- **Cajuste, Lenom J. y Cruz Días Jaime.** "Presencia de materiales amorfos en algunos tepetates en la zona de influencia Chapingo." Centro de Edafología. Colegio de Postgraduados en Ciencias Agrícolas. Montecillo, México. México.
- 14.- **Camargo Rayón, Emilio O. y Guido Acosta, Isaías. 1987.** "Roturación y trituración de tepetate en el valle del Mezquital. Su efecto en la agricultura bajo condiciones de riego." En: Uso y manejo de los tepetates para el desarrollo rural. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. México. 221 p.
- 15.- **Campos Cascardero, Adolfo y Rossignol, Jean-Pierre. 1987.** Dinámica de la Erosión en una unidad morfopedológica sobre tepetate, municipio de Cosautlán, Ver." En: "Uso y manejo de los tepetates para el desarrollo rural". Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. México. 221 p.
- 16.- **Campos de Jesús, Sergio. 1982.** "Efecto de la captación de lluvia, estiércol y rastrojo sobre la humedad del suelo y producción de la asociación maíz-frijol." Tesis de Maestría en Ciencias. Colegio de Postgraduados en Ciencias Agrícolas. Montecillo, México. México. 184 p.
- 17.- **Canahua Murillo, A. 1986.** "Conceptualización y toma de conciencia de las comunidades de la subcuenca del río Texcoco respecto a la conservación de sus recursos naturales." Tesis de Maestría en Ciencias, Centro de Estudios del Desarrollo Rural, Colegio de Postgraduados en Ciencias Agrícolas. Montecillo, México. México. 204 pags.
- 18.- **Castillo Pérez, T.; Estrella Chulín, N. y Muñoz Orozco, A. 1988.** "Dos condiciones de producción en el rendimiento de variedades de frijol *Phaseolus vulgaris* L. en La Montaña de Guerrero." En Revista Chapingo. 58-59. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México, México. 81 p.
- 19.- **Cruz Medrano, Sergio. 1986.** "Abonos Orgánicos". Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. México. 129 p.
- 20.- **Debouck G., Daniel e Hidalgo, Roberto. 1985.** "Morfología de la planta del frijol común." En "Frijol: Investigación y Producción." Referencia de los cursos de capacitación sobre frijol dictados por el Centro Internacional de Agricultura Tropical. Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo - Centro Internacional de Agricultura Tropical. Cali, Colombia.
- 21.- **De la Fuente, Juan; Ortega, Rafael y Sámano, Miguel (Coordinadores). 1993.** Agricultura y Agronomía en México. 500 años. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, Estado de México. México.
- 22.- **Delgadillo Piñón, María Eugenia; Miranda Martínez, Ma. Eigenia y Ruiz Hernández, Blanca Rosa. 1989.** "Evaluación de seis formas de roturación de tepetate amarillo para incorporarlo a la producción en el Oriente de la Cuenca de México." Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma de Chapingo. Departamento de Suelos. Chapingo, México. México.

23.- Díaz Cisneros, Heliodoro y Rachín Rodríguez, Refugio I. 1993. Contribuciones de México a la alimentación y a la agricultura mundiales. En: "Agricultura y Agronomía en México. 500 años." Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, Estado de México. México.

24.- Dielh, R. *et al.*, 1985. "Fitotecnia general." Ediciones Mundi prensa. Segunda edición. Madrid, España. 815 p.

25.- Dubroeuq, D. 1989. "Los tepetates de origen volcánico en México. Esquema preliminar de clasificación." En: Revista Terra. Vol. 7. Enero-Junio, número 1. México.

26.- Escalante E. J. Alberto y Kohashi Shibata, Josue. 1993. "El Rendimiento y crecimiento del frijol. Manual para toma de datos." Centro de Botánica. Colegio de Postgraduados en Ciencias Agrícolas. Montecillo, México. México. 84 pgs.

27.- Espinoza Espinoza, Honorio. 1992. "Dinámica de la erosión hídrica y eólica en el estado de Tlaxcala." Tesis de Mestría en Ciencias. Colegio de Postgraduados en Ciencias Agrícolas. Montecillo, México. México.

28.- Etchevers B., Jorge D.; Cruz H., Lourdes; Mares A., Juan y Zebrowski, Claude. 1992. "Fertilidad de los tepetates I. Fertilidad actual y potencial de los tepetates de la vertiente occidental de la Sierra Nevada (México)." En: Revista TERRA. Volumen 10. Número especial. Actas del primer Simposio Internacional de Suelos Volcánicos Endurecidos (Uso y manejo de tepetates). Colegio de Postgraduados en Ciencias Agrícolas, Montecillo, México. México. 572 p.

29.- Etchevers B., Jorge D.; López R. Rosa M.; Zebrowski, Claude y Peña H. David. 1992. "Características químicas de tepetates de referencia de los estados de México y Tlaxcala. México." En: Revista TERRA. Volumen 10. Número especial. Actas del primer Simposio Internacional de Suelos Volcánicos Endurecidos (Uso y manejo de tepetates). Colegio de Postgraduados en Ciencias Agrícolas, Montecillo, México. México. 572 p.

30.- FAO. 1980. "Los fertilizantes y su empleo. Guía de bolsillo para extensionistas." Tercera edición. Programa de fertilizantes de la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Roma, Italia. 57 p.

31.- Fernández, F. *et al.* 1985. "Etapas de desarrollo de la planta del frijol. En: Frijol: Investigación y Producción. Referencia de los cursos de capacitación sobre frijol dictados por el Centro Internacional de Agricultura Tropical. Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo - Centro Internacional de Agricultura Tropical. Cali, Colombia.

32.- Ferrera-Cerrato, R.; Ortiz-Catón, A.; Delgadillo M., J. y Santamaría R., M. 1996. "Uso de la materia orgánica en la recuperación de tepetates y su influencia sobre los microorganismos." Ponencia presentada en el Tercer Simposio Internacional de Suelos Volcánicos Endurecidos, realizado en Quito, Ecuador.

33.- Flach W., Klaus; Nettleton D., Wiley y Chadwick A., Oliver. 1992. "Los criterios de los duripanes en la Soil Taxonomy, y la contribución de la Micromorfología para caracterizar los suelos endurecidos por la sílice." En: Revista TERRA. Volumen 10. Número especial. Actas del primer Simposio Internacional de Suelos Volcánicos Endurecidos (Uso y manejo de tepetates). Colegio de Postgraduados en Ciencias Agrícolas, Montecillo, México. México. 572 p.

- 34.- Flores Diego y Navarro Hermilio. 1996. "Manejo agronómico diferencial de la asociación maíz-haba en tepetate de quinto año de uso agrícola." Ponencia presentada en el Tercer Simposio Internacional de Suelos Volcánicos Endurecidos, realizado en Quito, Ecuador.
- 35.- Galeana de la Cruz, Mario. 1990. "Evaluación del efecto de la veza (*Vicia Sativa L.*) como abono verde en el cultivo de cebada en Chapingo, México." Tesis de Maestría en Ciencias. Colegio de Posgraduados en Ciencias Agrícolas. Centro de Edafología. Montecillo, México. México. 106 p.
- 36.- Garcia de Miranda, Enriqueta. 1980. "Apuntes de Climatología." Tercera edición. México, D.F. México. 153 p.
- 37.- Gerhard, Peter. 1986. "Geografía histórica de la Nueva España. 1519-1821". Instituto de Investigaciones Históricas-Instituto de Geografía. Universidad Nacional Autónoma de México. México. 493 p.
- 38.- Gibson, Charles 1978. "Los Aztecas bajo el dominio español, 1519-1810." Editorial Siglo XXI. México, D.F. México. 307 p.
- 39.- Gómez Espinoza, Angelica M. 1987. "Estudio de la asociación de avena (*Avena spp L.*) y veza (*Vicia spp*) para forraje de invierno en Amanalco, Estado de México." Tesis de Licenciatura. Ingeniería Agrícola. Universidad Nacional Autónoma de México. Cuatitlán Izcalli, México. México.
- 40.- Gómez Rojas, Juan Carlos. 1981. "Método climático De Fina en la aplicación de la agricultura en el estado de Aguascalientes." Facultad de Filosofía y Letras. Colección Cuadernos. Dirección General de Publicaciones. Universidad Nacional Autónoma de México. México, D.F. México. 124 p.
- 41.- González Jácome, Alba. 1992. "Manejo del agua en condiciones de secano en Tlaxcala, México." En: Revista TERRA. Volumen 10. Número especial. Actas del primer Simposio Internacional de Suelos Volcánicos Endurecidos (Uso y manejo de tepetates). Colegio de Postgraduados en Ciencias Agrícolas, Montecillo, México. México. 572 p.
- 42.- González Galindo, Maria Hortensia. 1990. "Evaluación de tres variedades de trigo para temporal y tres para riego, bajo condiciones de temporal". Tesis de Licenciatura. Ingeniería Agrícola. Universidad Nacional Autónoma de México. Cuatitlán Izcalli, México. 159 p.
- 43.- González Ríos, Jesus M. 1984. "Introducción y evaluación de gramíneas y leguminosas establecidas en áreas degradadas para su uso en conservación de suelos y producción de forraje en sistemas asociados con maíz." Tesis de Maestría en Ciencias. Colegio de Postgraduados en Ciencias Agrícolas. Montecillo, México. México. 296p.
- 44.- Hernández Rangel, Rubén. 1991. "Identificación, aislamiento y producción de inóculo de la bacteria del género *Rhizobium* que forma los nódulos de veza de invierno (*Vicia vellosa*) y comprobación de la eficacia del *Rhizobium* aislado en otras leguminosas." Tesis de Licenciatura. Universidad Nacional Autónoma de México. Cuatitlán, México. México.

45.- **Hernández Xolocotzi, Efraín. 1987.** "Etnobotánica de Tlaxcala". Conferencia Magistral grabada. En: "Uso y manejo de los tepetates para el desarrollo rural". Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. México. 221 p.

46.- **Hessmann, Reiner. 1992.** Investigaciones micromorfológicas en "Tepetate". Formaciones en sedimentos de "toba" en el estado de Tlaxcala." En: Revista TERRA. Volumen 10. Número especial. Actas del primer Simposio Internacional de Suelos Volcánicos Endurecidos (Uso y manejo de tepetates). Colegio de Postgraduados en Ciencias Agrícolas, Montecillo, México. México. 572 p.

47.- **Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas. 1985.** "Guía de Cultivos". Secretaria de Agricultura y Recursos Hidráulicos. México, D.F. México.

48.- **Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas. 1992.** "I Conferencia nacional sobre producción de trigo en México (Memorias)". Secretaria de Agricultura y Recursos Hidráulicos. Cd. Obregón, Sonora. México. 506 p.

49.- **Krishnamurthy, L. 1984.** "Análisis de la estructura, función, dinámica y manejo del agroecosistema de cultivos asociados." Informe técnico. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. México.

50.- **Lepiz Idelfonso, Rogelio (coordinador). 1983.** "Logros y aportaciones de la investigación agrícola en el cultivo del frijol." Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas. SARH. México, D.F. México.

51.- **Llerena Villalpando, F. Alberto y Sánchez Bernal Benjamín. 1992.** "Recuperación de tepetates en la vertiente oriental del Valle de México." En: Revista TERRA. Volumen 10. Número especial. Actas del primer Simposio Internacional de Suelos Volcánicos Endurecidos (Uso y manejo de tepetates). Colegio de Postgraduados en Ciencias Agrícolas, Montecillo, México. México. 572 p.

52.- **López Arredondo, Gonzalo. 1984.** "Comportamiento genético de variedades de trigo (*Triticum aestivum* L.) liberadas en México en diferentes épocas." Tesis de Maestría en Ciencias. Colegio de Postgraduados en Ciencias Agrícolas. Montecillo, Texcoco. México.

53.- **Márquez Ramos, Alfonso, Olivares Rodríguez, Felipe y Navarro Garza, Hermilio. 1991.** "Encuestas y observaciones de campo en San Pablo Ixayoc y comunidades de Talxcala." Texcoco, México. Por publicar.

54.- **Márquez Ramos, Alfonso; Prat, Christian; Ascencio Zapata, Eduardo y Báez Pérez, Aurelio. 1996.** "Evaluación de la adaptabilidad de diferentes sistemas de cultivo en un tepetate t3 incorporado a la agricultura de temporal (1993 a 1996). Texcoco, México." Ponencia presentada en el Tercer Simposio Internacional de Suelos Volcánicos Endurecidos, realizado en Quito, Ecuador.

55.- **Márquez Sánchez Fidel. 1975.** "Sistemas de producción agrícola." Mimeo. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México.

56.- **Miehlich, Günter. 1992.** "Origen y propiedades de "Tepetate" en los Valles Centrales de México." En: Revista TERRA. Volumen 10. Número especial. Actas del Primer Simposio Internacional de Suelos Volcánicos Endurecidos. Montecillo, México. México. 572 p.

- 57.- Molina Díaz, S.B.; Barrales Domínguez, S. y Morteo Baez, F. 1988. "Ensayo agronómico en la zona temporalera de Santa María Zacatepec, Puebla de un grupo de variedades de frijol con diferentes hábitos de crecimiento." En Revista Chapingo. 58-59. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México, México. 81 p.
- 58.- Montes Meneses, Jorge. 1977. "Componentes de rendimiento y parámetros fisiológicos en haba." Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. México.
- 59.- Murdock, W. 1950. "Guía para la clasificación de los datos culturales." Reimp. 1989. Universidad Autónoma Metropolitana. México.
- 60.- Navarro Garza, Hermilio. 1992. "Metodología para análisis de sistemas de producción, con énfasis en el manejo de tepetates." En: Revista TERRA. Volumen 10. Número especial. Actas del primer Simposio Internacional de Suelos Volcánicos Endurecidos (Uso y manejo de tepetates). Colegio de Postgraduados en Ciencias Agrícolas, Montecillo, México. México. 572 p.
- 61.- Navarro, Hermilio; Pérez, Antonia y Flores, Diego. 1994. "Tepetates y organización de sistemas de aprovechamiento de recursos. Centro de Estudios del Desarrollo Rural. Colegio de Postgraduados en Ciencias Agrícolas. Montecillo, Texcoco, México. México.
- 62.- Navarro Garza, Hermilio y Prat, Christian. 1995. "Habilitación agrícola de los tepetates, (suelos volcánicos endurecidos y estériles) de los valles de México y Tlaxcala". Ponencia por publicarse. Texcoco, México. México.
- 63.- Nimlos, Thomas y Ortiz Solorio, Carlos. 1987. "Tepetate and soil erosion in the Valley of Mexico." In: Journal Soil Water. Cons. No 42.
- 64.- Nimlos Thomas J. 1987. "La nomenclatura de horizontes endurecidos en suelos de cenizas volcánicas." En: "Uso y manejo de los tepetates para el desarrollo rural". Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. México. 221 p.
- 65.- Obrador Olan, José de Jesús. 1994. "Validación de parámetros de planta y clima que se utilizan en un modelo simplificado destinado a determinar dosis de fertilización de nitrógeno, fósforo y potasio para maíz." Tesis de Maestría en Ciencias. Colegio de Postgraduados en Ciencias Agrícolas. Montecillo, México. México. 120 p.
- 66.- Olivares Rodríguez, Felipe y Márquez Ramos Alfonso. 1992. "Aspectos Socioeconómicos y agroecológicos de la recuperación de tepetates en San Pablo Ixayoc, Edo. de México." En: Revista TERRA. Volumen 10. Número especial. Actas del primer Simposio Internacional de Suelos Volcánicos Endurecidos (Uso y manejo de tepetates). Colegio de Postgraduados en Ciencias Agrícolas, Montecillo, México. México. 572 p.
- 67.- Ortiz Ramos, Carlos. 1979. "Cultivos asociados o intercalados en México. Evaluación." En: Econotecnia Agrícola. Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos. México, D. F. México. 40 p.
- 68.- Ortiz Solorio, Carlos Alberto y Gutiérrez Castorena, Ma. del Carmen. 1993. "Clasificación campesina de tierras con bases en códigos y su representación actual." En: "Agricultura

y Agronomía en México. 500 años." Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, Estado de México. México.

69.- **Ortiz Solorio, Ma. de la Luz Marcela, et al. 1987.** "Evaluación de la desertificación por encostramiento de óxidos de silicio en la parte media de la cuenca del Río Texcoco (Efecto de la Tecnología aplicada, inversiones y factor humano)". En: "Uso y manejo de los tepetates para el desarrollo rural". Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. México. 221 p.

70.- **Osaria Rodríguez, Luis. 1981.** "Guía para cultivar frijol de temporal en el Estado de Tlaxcala." S.A.R.H. Unidad de Divulgación Técnica del Campo Agrícola Experimental Valle de México. Chapingo, México. México.

71.- **Pacheco López, Ma. del Carmen y Estrada Berg Wolf, J. Walterio. 1987.** "Cartografía y caracterización mineralógica de los tepetates del oriente del Valle de México." En: "Uso y manejo de los tepetates para el desarrollo rural". Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. México. 221 p.

72.- **Palerm Vich, A. y Wolf, E. 1972.** "Agricultura y civilización en Mesoamérica." Editorial SEP-Setentas. México, D.F. México. 212 p.

73.- **Paredes Rangel, Beatriz. 1992.** "Discurso Inaugural". En: Revista TERRA. Volumen 10. Número especial. Actas del Primer Simposio Internacional de Suelos Volcánicos Endurecidos. Montecillo, México. México. 572 pgs.

74.- **Parson M. David B. 1982.** "Trigo, cebada y avena." Manuales para educación agropecuaria. Área de producción vegetal. Editorial Trillas. México, D.F. México. 59 p.

75.- **Pedraza Cerón, Eusebio, et al. 1987.** "Establecimiento de cinco especies forestales en tres tipos de tepetates de la zona de Tequesquihuac a Coatepec, Estado de México". En: "Uso y manejo de los tepetates para el desarrollo rural". Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. México. 221 p.

76.- **Peña Blancas, Vicente. 1987.** "Importancia de la micorriza en el establecimiento de plantaciones forestales en tepetate". En: "Uso y manejo de los tepetates para el desarrollo rural". Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. México. 221 p.

77.- **Peña H. David y Zebrowski, Claude. 1992.** "Caracterización física y mineralógica de los tepetates de la vertiente occidental de la Sierra Nevada". En: Revista TERRA. Volumen 10. Número especial. Actas del primer Simposio Internacional de Suelos Volcánicos Endurecidos (Uso y manejo de tepetates). Colegio de Postgraduados en Ciencias Agrícolas, Montecillo, México. México. 572 p.

78.- **Pérez-Lizaur, M. 1975.** "Población y sociedad en cuatro comunidades del Acolhuacan." SEP-INAH. México, D.F. México. 120 pags.

79.- **Portais, Michel. 1992.** "Palabras de bienvenida". En: Revista TERRA. Volumen 10. Número especial. Actas del primer Simposio Internacional de Suelos Volcánicos Endurecidos (Uso y manejo de tepetates). Colegio de Postgraduados en Ciencias Agrícolas, Montecillo, México. México. 572 p.

- 80.- Quantin, Paul. 1996. "Caracterización y génesis de los horizontes endurecidos de suelos volcánicos." Ponencia presentada en el Tercer Simposio Internacional de Suelos Volcánicos Endurecidos, realizado en Quito, Ecuador.
- 81.- Quiñones Garza, Humberto. 1987. "La química del Silicio." En: "Uso y manejo de los tepetates para el desarrollo rural". Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. México. 221 p.
- 82.- Resignol, Jean Pierre y Campos C. Adolfo. 1987. "Los tepetates de la zona centro de Veracruz." En: "Uso y manejo de los tepetates para el desarrollo rural". Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. México. 221 p.
- 83.- Rey Contreras, Jaime A. 1987. "Estimación de la erodabilidad de los tepetates en la cuenca del río Texcoco en base al factor K." En: "Uso y manejo de los tepetates para el desarrollo rural". Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. México. 221 p.
- 84.- Rivera Dominguez, Alejandro y Fernández F., Aurelio. 30 marzo 1994. "En riesgo de volverse tepetate el 56% de las tierras de Tlaxcala" (Reportaje). En La Jornada de Oriente. Puebla, México. México.
- 85.- Robles Sánchez, Raúl. 1983. "Producción de granos y forrajes." 3ra. edición. Editorial Limusa. México, D.F. México. 608 p.
- 86.- Rodríguez Gómez, Rubén, *et al.* 1979. "Aspectos físicos y agropecuarios del Estado de Tlaxcala." Dirección General de Estudios. Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos. México.
- 87.- Rodríguez N., Francisco *et al.* 1994. "Materia orgánica. Efecto en el suelo e influencia directa en la planta." Departamento de Suelos. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. México. 52 p.
- 88.- Romero Cervantes, Alejandro Tonatiuh. 1992. "Sistemas agrícolas de temporal y la erosión en Hueyotlipan, Tlaxcala, México." En: Revista TERRA. Volumen 10. Número especial. Actas del primer Simposio Internacional de Suelos Volcánicos Endurecidos (Uso y manejo de tepetates). Colegio de Postgraduados en Ciencias Agrícolas, Montecillo, México. México. 572 p.
- 89.- Romero Gonzalez, Alberto. 1981. "Efecto de dos épocas de siembra y dos épocas de corte en el rendimiento y calidad forrajera de 11 líneas de Triticali sembrado solo o en asociación con veza (*Vicia villosa*)." Tesis de Maestría en Ciencias. Colegio de Postgraduados en Ciencias Agrícolas. Chapingo, México. México.
- 90.- Ruíz Figueroa, J. Feliciano (Editor). 1987. "Uso y manejo de los tepetates para el desarrollo rural". Primera Edición. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 221 pp.
- 91.- Sánchez Juárez, Maximino, *et al.* 1987. "Comportamiento de dos tipos de tepetate bajo la adición de abonos orgánicos y abonos verdes en condiciones de invernadero." En: "Uso y manejo de los tepetates para el desarrollo rural". Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. México. 221 p.
- 92.- Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos. 1984. "Agenda técnica del valle de México. Zona Xochimilco, Tlahuac y Tlalpan. México, D.F. México.

93.- "Sistemas de producción donde interviene el frijol." Mimeo. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. México. 18 p.

94.- Solorzano Vega, Esteban. 1980. "Fenología y comportamiento de los componentes de rendimiento en haba." Tesis Maestría en Ciencias. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. México.

95.- Valdivia Ortega, María Eloisa. 1989. "Escrito de información inicial sobre el proyecto: "Incorporación de los tepetates a la producción agrícola". Centro de Estudios del Desarrollo Rural. Colegio de Postgraduados. Montecillo. México.

96.- Werner, Gerd. 1986. "Los suelos del Estado de Tlaxcala. Altiplano Central Mexicano. Investigaciones relacionadas con su desarrollo, extensión, erosión y su utilización bajo la influencia de actividades agrícolas en 3000 años." Universidad Autónoma de Tlaxcala. Instituto Tlaxcalteca de la Cultura. Centro de Estudios Municipales del Estado de Tlaxcala. Tlaxcala. México.

97.- Werner, Gerd. 1975-1976. "Los suelos de la cuenca alta de Puebla-Tlaxcala y sus alrededores".

98.- Werner, Gerd. 1992. "Suelos volcánicos endurecidos (tepetates) en el estado de Tlaxcala: Distribución, rehabilitación, manejo y conservación." En: Revista TERRA. Volumen 10. Número especial. Actas del primer Simposio Internacional de Suelos Volcánicos Endurecidos (Uso y manejo de tepetates). Colegio de Postgraduados en Ciencias Agrícolas, Montecillo, México. México. 572 p.

99.- Williams, B. J. 1972. "Tepetate in the valley of Mexico." Annals of the association of America Geographers 62(4).

100.- Williams, J. Barbara. 1992. "El "Tepetate" en el siglo XVI y la terminología popular contemporánea, Valle de México." En: Revista TERRA. Volumen 10. Número especial. Actas del primer Simposio Internacional de Suelos Volcánicos Endurecidos (Uso y manejo de tepetates). Colegio de Postgraduados en Ciencias Agrícolas, Montecillo, México. México. 572 p.

101.- Zebrowski, Claude. 1992. "Los suelos volcánicos endurecidos en América Latina." En: Revista TERRA. Volumen 10. Número especial. Actas del primer Simposio Internacional de Suelos Volcánicos Endurecidos (Uso y manejo de tepetates). Colegio de Postgraduados en Ciencias Agrícolas, Montecillo, México. México. 572 p.