

**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**

FACULTAD DE CIENCIAS

DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSTGRADO

**EVALUACIÓN DE INTERACCIONES ECOLÓGICAS DEL CULTIVO  
DE LEGUMINOSAS EN LOS "CAMELLONES": AGROECOSISTEMA  
TRADICIONAL EN TLAXCALA**

**T E S I S**

QUE PARA OBTENER EL GRADO ACADÉMICO DE

**DOCTORA EN CIENCIAS**

**(BIOLOGÍA)**

P R E S E N T A

VERÓNICA MARÍA TERESA NAVA RODRÍGUEZ

DIRECTORA DE TESIS

DRA. ANA LUISA ANAYA LANG

México, D.F.

Enero, 2007

**DATOS DEL JURADO**



Universidad Nacional  
Autónoma de México



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

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

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

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

**1. Datos del alumno**

**Nava**

**Rodríguez**

**Verónica María Teresa**

**56 56 06 68**

**Universidad Nacional Autónoma de México**

**Facultad de Ciencias**

**6601543-1**

**2. Datos del tutor**

**Dra.**

**Ana Luisa**

**Anaya**

**Lang**

**3. Datos del sinodal 1**

**Dra.**

**Irma Aurora**

**Rosas**

**Pérez**

**Dra.**

**4. Datos del sinodal 2**

**Dra.**

**Alma delfina Lucía**

**Orozco**

**Segovia**

**5. Datos del sinodal 3**

**Dr.**

**Jorge Arturo**

**Meave**

**Del Castillo**

**6. Datos del sinodal 4**

**Dra.**

**Rocío**

**Cruz**

**Ortega**

**7. Datos del sinodal 5**

**Dra.**

**Silvia**

**Del Amo**

**Rodríguez**

**8. Datos del sinodal 6**

**Dr.**

**Fernando**

**De León**

**Gonzalez**

**9. Datos del trabajo escrito**

**Título: Evaluación de interacciones ecológicas del cultivo de leguminosas en los “camellones”: agroecosistema tradicional en Tlaxcala.**

**147 p**

**2007**

## **AGRADECIMIENTOS**

A Dios por permitirme transitar por la maravillosa aventura de la VIDA

A mis padres por mostrarme el camino a la superación

A mi esposo e hijos por su amor y por acompañarme en todos los momentos de mi vida

A mis suegros y cuñados por su apoyo incondicional

A los campesinos de Santa Inés Tecuexcomac, por todas las facilidades, hospitalidad e información brindados a lo largo de este estudio

A la Dra. Ana Luisa Anaya Lang por su importante y constante participación en la dirección de esta tesis, por su paciencia, enseñanzas y sobre todo por su amistad

A la Dra. Rocío Cruz Ortega, Dra. Silvia del Amo Rodríguez, Dra Irma Aurora Rosas Pérez, Dra. Alma Delfina Lucía Orozco Segovia, Dr. Fernando de León González y al Dr. Jorge Arturo Meave del Castillo por su participación como sinodales y revisores de esta tesis de doctorado

A mis amigos, compañeros y autoridades de la Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Xochimilco

A mis compañeras del Laboratorio de Alelopatía del Instituto de Ecología de la UNAM

A mis maestros y compañeros de la Facultad de Ciencias de la UNAM

A la Universidad Nacional Autónoma de México por brindarme la oportunidad de desarrollarme en un ambiente de cultura, conocimientos, fraternidad y de crecer como profesionista y como persona.

**DEDICATORIA**

**A mi esposo:**

**SALVADOR**

**Y a mis hijos:**

**Verónica y Edgar**

**CON TODO MI AMOR**

## CONTENIDO

Resumen-----	7
<b>CAPÍTULO I</b>	
<b>INTRODUCCIÓN GENERAL</b> -----	16
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA-----	17
ANTECEDENTES Y OBJETIVOS-----	20
REFERENCIAS-----	27
<b>CAPÍTULO II</b>	
<b>Los Camellones y el Cultivo Tradicional de Leguminosas en Santa Inés Tecuexcomac, Tlaxcala</b> -----	32
RESUMEN-----	32
INTRODUCCIÓN-----	33
Antecedentes sobre el origen y manejo de camellones-----	35
<i>Los “Camellones”, Campos Drenados o Elevados</i> -----	35
<i>Camellones en el México Prehispánico</i> -----	36
<i>Camellones en el México Colonial</i> -----	37
<i>La Agricultura de Campos Drenados o Camellones en el estado de Tlaxcala</i> -----	38
<i>Fertilización Orgánica</i> -----	40
<i>Plantación de árboles</i> -----	41
<i>Mantenimiento de los Camellones</i> -----	41
<i>Prácticas Agrícolas y Principales Cultivos</i> -----	42
Descripción de los Camellones de Santa Inés Tecuexcomac-----	44
SITIO DE ESTUDIO-----	44
<i>Clima</i> -----	45
<i>Geología y Geomorfología</i> -----	45
<i>Hidrología</i> -----	46
<i>Vegetación</i> -----	46
MATERIALES Y MÉTODOS-----	47

RESULTADOS Y DISCUSIÓN-----	47
Características de las Áreas Agrícolas de Santa Inés Tecuexcomac-----	47
<i>Vegetación Silvestre Asociada a los Camellones</i> -----	48
<i>Fertilización Orgánica</i> -----	52
<i>Patrones de Cultivo</i> -----	54
<i>Descripción de Ciclos Agrícolas y sus Cultivos</i> -----	55
Manejo Agrícola Tradicional de Leguminosas en los Camellones de Santa Inés Tecuexcomac-----	58
<i>Alfalfa</i> -----	59
<i>Frijol común</i> -----	62
<i>Haba</i> -----	65
<i>Veza común o Ebo</i> -----	67
PRODUCCIÓN PECUARIA-----	70
CONCLUSIONES-----	70
REFERENCIAS-----	72

### **CAPÍTULO III**

<b>Características Químicas del Suelo. Calidad del Agua de Riego y Producción de Alfalfa (<i>Medicago sativa</i> L.) bajo Manejo Tradicional en Tres Camellones de Santa Inés Tecuexcomac, Tlaxcala.</b> -----	77
RESUMEN-----	77
INTRODUCCIÓN-----	78
MATERIALES Y MÉTODOS-----	85
RESULTADOS Y DISCUSIÓN-----	88
CONCLUSIONES-----	97
REFERENCIAS-----	99
ANEXO-----	102

## **CAPÍTULO IV**

<b>Allelopathic Potential of Beans (<i>Phaseolus</i> spp.) and Other Crops</b> -----	104
ABSTRACT-----	104
INTRODUCTION-----	105
MATERIALS AND METHODS-----	106
RESULTS-----	110
DISCUSSION-----	116
REFERENCES-----	119

## **CAPÍTULO V**

<b>Discusión Final</b> -----	125
Epílogo. Manejo y conservación de los recursos-----	139
REFERENCIAS-----	141

## RESUMEN

Los agroecosistemas tradicionales se caracterizan porque la fuerza de trabajo es proporcionada principalmente por el hombre y sus animales. En ellos, el campesino ha heredado y desarrollado un sistema de cultivo complejo que le ha permitido cubrir sus necesidades de subsistencia por siglos, dependiendo en menor medida de insumos externos y costosos. Los agroecosistemas tradicionales ejemplifican la experiencia acumulada por el campesino con su medio circundante; gracias a ella, se lleva a cabo un manejo adecuado de la diversidad genética, se diseñan policultivos que le dan continuidad espacial y temporal a las plantas, se asegura una producción constante de alimento y una cubierta vegetal que protege al suelo, se mantiene la fertilidad del suelo por medio de abonos orgánicos, se conserva y controla el agua por medio de la siembra de cultivos adaptados a la cantidad y distribución de las lluvias, y generalmente, se aplican sistemas de rotación y siembra de leguminosas en sus patrones de intercultivo. Otra de las cualidades sobresalientes de estos agroecosistemas es la conservación de la diversidad florística representada por las plantas cultivadas y silvestres.

Un ejemplo de estos sistemas tradicionales son los camellones o sistemas de agricultura de campos drenados o elevados, de origen prehispánico. Los camellones son parcelas de cultivo rectangulares rodeadas por canales de agua y bordeados de árboles y arbustos y estas características los asemejan a las chinampas de la Cuenca de México. Los camellones de Tlaxcala se encuentran ubicados en el suroeste del estado, entre los ríos Zahuapan y Atoyac; esta zona es importante porque comprende 19 de los 44 municipios del estado, posee 55% de la población total y en ella se concentra la actividad agrícola con las mejores condiciones ambientales.

El deterioro ambiental y de los ecosistemas, que se inicia con la Revolución Industrial a fines del siglo XIX, se intensifica en gran medida en México en los años cuarenta del siglo XX, y se traduce en daño masivo a los suelos por el cambio de su uso, desaparición de especies silvestres y cultivadas, contaminación de los cuerpos de agua por el desarrollo industrial y la adopción de técnicas agrícolas modernas y sofisticadas, inapropiadas para las condiciones ambientales de nuestro país, por la explotación forestal irracional y la ganadería extensiva, entre otras causas.

Inmersos en este proceso de cambios ambientales, los agroecosistemas tradicionales empiezan a sufrir un proceso de transformación y deterioro. Los sistemas agrícolas de los camellones no fueron la excepción, también sufrieron modificaciones ambientales profundas, alteración en la calidad del agua y cambios en el manejo y tecnología agrícola aplicada; los campesinos empezaron a sustituir los policultivos por monocultivos, el uso de abonos orgánicos por fertilizantes químicos, la yunta por el tractor; y en cuanto a lo social, se dió un proceso de pérdida de la cultura, ya que el productor cambió sus costumbres e ideología.

Con base en la problemática que los agroecosistemas tradicionales, fuente de riqueza biológica y genética, y de experiencia tradicional y conocimiento empírico sobre las relaciones ecológicas que entrelazan a los recursos bióticos con los abióticos, el tema central de esta tesis se enfocó sobre las características, uso y manejo tradicional de algunos recursos naturales en los ‘camellones’ de Santa Inés Tecuexcomac, Tlaxcala, en sus tres principales zonas agrícolas: La Laguna, El Bajío y La Loma.

El objetivo general de esta tesis se centró en la investigación de algunos aspectos culturales y ecológicos del manejo agrícola tradicional, en particular del cultivo de leguminosas, para enmarcar los cinco capítulos que constituyen el presente trabajo.

**En el Capítulo I**, la introducción general, se trata la importancia de los agroecosistemas tradicionales y el amplio conocimiento que poseen los campesinos que los manejan dentro de su entorno particular. La situación del campo mexicano en la actualidad es de una crisis muy severa cuyas vertientes ocupan las áreas ambientales, políticas, sociales y económicas. Esta crisis ha generado una amenaza cada vez mayor sobre estos agroecosistemas, su biodiversidad, tanto cultivada como silvestre, y el valioso conocimiento empírico que aun poseen los campesinos que en ellos trabajan. Con base en esto, se definen los objetivos y los antecedentes y el planteamiento del problema que la tesis aborda.

**En el Capítulo II**, “Los camellones y el cultivo tradicional de las leguminosas en Santa Inés Tecuexcomac, Tlaxcala”, los objetivos particulares fueron: 1) describir las modificaciones que se han dado a través del tiempo en la dinámica del manejo de los camellones, con base en una revisión bibliográfica completa. 2) describir la diversidad vegetal del agroecosistema en relación con las especies de plantas presentes en él: cultivos,

arvenses, arbustos y árboles que circundan las orillas de los camellones, así como las plantas acuáticas en los canales que los rodean; 3) describir los patrones y prácticas de cultivo general en los camellones, en los ciclos primavera-verano y otoño-invierno; 4) describir el manejo agrícola tradicional particular de las leguminosas que se cultivan de manera habitual en los camellones, tanto en el tiempo como en el espacio. Los objetivos 3 y 4 se basaron en encuestas detalladas realizadas a los campesinos del lugar.

Los resultados de este estudio fueron los siguientes: los camellones en Santa Inés se caracterizan por que su producción tradicional está basada en la clásica combinación de tres cultivos: maíz-frijol-calabaza, y otros más que anteriormente llegaron a ser más de 12 en el suroeste de Tlaxcala, incluyendo diversas especies de hortalizas como cebolla, chile, lechuga, ajo, tomate, zanahoria, lenteja y rábano, las cuales, en la actualidad, se siembran muy poco.

En los camellones se realizan prácticas de policultivo y rotación de cultivos durante todo el año, dada la disponibilidad continua de agua de riego, combinando las especies cultivadas y dando también un manejo particular a las arvenses, a los árboles que rodean los camellones y a la vegetación acuática de los canales. Las leguminosas comestibles y forrajeras que se cultivan en diferentes épocas del año y con diversa distribución espacial, consisten, por ejemplo, en asociaciones de frijol trepador y maíz, intercalando melgas de alfalfa dentro del camellón, o la mezcla de la veza con la avena, todas las cuales se cultivan con distintos fines: como alimento humano, forrajes y mejoradoras y/o protectoras. En los camellones conviven árboles, arbustos y hierbas junto con los variados cultivos que ahí se siembran. Los árboles se encuentran generalmente en las orillas de los camellones; el más común es *Alnus acuminata* Kunth (aile) de la familia Betulaceae, especie que establece una asociación simbiótica con el actinomiceto fijador de nitrógeno, *Frankia*. En el estudio se encontraron seis especies de árboles silvestres y ocho especies de árboles frutales. Los árboles desempeñan funciones ecológicas importantes como aportación de materia orgánica al suelo, protección contra el viento y la erosión, retención de humedad, refugio de aves, mamíferos y otros animales, y trampas para insectos.

Los cultivos más importantes en los camellones son: maíz, frijol, calabaza, alfalfa, haba, ebo, avena y amaranto, los cuales se siembran en combinaciones diversas y según la estación del año. *Chenopodium album* o “huauzontle”, tiene una amplia distribución en el

altiplano mexicano, y en los camellones se siembra en una pequeña área de la parcela con fines de autoconsumo. El control del crecimiento de arvenses en los camellones se lleva a cabo utilizando métodos diversos y fechas específicas durante el ciclo de cultivo. Los dos métodos más comunes son: el deshierbe manual y el uso del arado, que se aplican en dos ocasiones durante la primera mitad del ciclo de cultivo. Las arvenses pueden ser aprovechadas como alimento humano, forraje, o bien, ser incorporadas al suelo como abono verde. Durante el estudio se cuantificaron 32 especies de arvenses pertenecientes a 21 familias, de las cuales las Poaceae y Asteraceae son las más importantes. Otra característica importante de los camellones es la presencia de canales de agua en al menos dos de los lados del mismo. La mayor parte de estos canales, en la zona de El Bajío, se encuentran sin ningún revestimiento, lo que permite el libre crecimiento de plantas acuáticas. En los canales que rodean a los camellones se identificaron cinco especies de plantas acuáticas entre las que sobresalen *Typha latifolia* y *Berula erecta* (sin. *Berula angustifolia*). Otra particularidad en estos sistemas de cultivo es el uso de abonos orgánicos, como el estiércol de res y otros animales del corral, la incorporación al suelo de arvenses durante los deshierbes, la aplicación de lodo del fondo de los canales y de plantas acuáticas, aproximadamente cada 4 años, y también la siembra y rotación de diversas leguminosas cultivadas tanto en mono como en policultivos, o en rotación con el maíz, el principal cultivo en la zona. La riqueza y diversificación de cultivos multiplica las opciones de alimento y venta de productos agrícolas; de esta manera aumentan los ingresos y mejora la economía familiar. En los camellones, el campesino siembra alfalfa, como un forraje de alta calidad, experimentando con diversas variedades para encontrar las más productivas; en general, se reconoce a la variedad “Atlixqueña” como resistente a la sequía y a la variedad “Peruana” como muy productiva. Otra leguminosa muy común es la veza que constituye una buena opción como forraje de invierno, ya que es resistente al frío y a diversas plagas, a diferencia de algunos frijoles comunes que además de ser sensibles al frío o al granizo, son atacados por plagas y enfermedades, aunque representan una de las especies más apreciadas como alimento, después del maíz. En los camellones se siembran dos especies de frijol (*Phaseolus vulgaris* L y *P. coccineus* L.), cuyas diversas variedades difieren en sus hábitos de crecimiento y en su sabor. La ganadería es una actividad complementaria para el campesino, ya que no solo es una fuente de proteínas

(carne, leche y huevo), sino también representa una forma de ingreso extra de gran importancia; adicionalmente, el ganado constituye una fuente de fertilizante orgánico para los camellones, los que a su vez, producen forrajes y arvenses que se utilizan para alimentar a los animales domésticos.

**El Capítulo III**, “Características químicas del suelo, calidad del agua de riego y producción de alfalfa (*Medicago sativa* L.), bajo manejo tradicional en tres camellones de Santa Inés Tecuexcomac, Tlaxcala”,

El estudio se planteó debido a los cambios ambientales que la zona ha sufrido en los últimos años, en particular, la disminución de la calidad del agua de uno de los principales ríos del suroeste del estado de Tlaxcala, el río Atoyac, el cual recibe las aguas residuales de un corredor industrial a lo largo de su trayecto. El conocimiento de la calidad del agua aplicada a una zona agrícola y de riego es de gran importancia en cuanto al impacto que este factor ecológico puede tener sobre la estructura, la salinidad y la fertilidad del suelo, así como sobre el crecimiento y la producción de cultivos. Por lo que los objetivos de este trabajo fueron: 1) evaluar la fertilidad del suelo en las tres zonas del poblado de Santa Inés Tecuexcomac bajo manejo tradicional; 2) evaluar la calidad química del agua de riego en las zanjas que rodean a los camellones de la zona de El Bajío y La Laguna y del agua de pozo en La Loma, con base en los índices de salinidad efectiva, salinidad potencial, carbonato de sodio residual y concentración del ión cloro; y 3) determinar, analizar y comparar la productividad del cultivo de alfalfa en los tres camellones de las tres áreas mencionadas, en la época de invierno.

Los suelos arenosos de La Loma, presentaron deficiencias de materia orgánica, N,  $\text{Ca}^{2+}$  y  $\text{K}^+$ ; este tipo de suelos favorece la lixiviación de nutrimentos. Por el contrario, los suelos de la Laguna son extremadamente ricos en MO, N,  $\text{Ca}^{++}$  y  $\text{Mg}^{++}$  y se observa una mayor fertilización con estiércol. A pesar de esto, la productividad en esta zona tiende a ser la más baja, probablemente porque en este sitio se presenta un nivel freático alto o bien porque la variedad sembrada no es altamente productiva. En relación al suelo, no se detectaron problemas de salinidad o sodicidad en las tres áreas de estudio, aunque es necesario obtener mayor información sobre los efectos del mayor uso de estiércol u otros abonos orgánicos y de la combinación de éstos con fertilizantes comerciales, con el fin de recomendar la

fertilización más adecuada para las tres zonas, con base en las características ambientales de cada una.

La calidad del agua de riego para los tres sitios, correspondió a C<sub>2</sub>S<sub>1</sub>, es decir, aguas medianamente salinas y sin problemas de sodicidad, de buena calidad con base en los índices de salinidad efectiva, salinidad potencial, carbonato de sodio residual y presencia del ión cloro. Sin embargo en estudios químicos más recientes del agua del río Atoyac se ha detectado un aumento de sales de Na<sup>+</sup>, HCO<sup>-3</sup> y SO<sup>-4</sup> y metales pesados, por lo que resulta necesario y urgente evitar la descarga de aguas tanto domésticas como industriales y agrícolas sobre este cuerpo de agua.

En el presente trabajo se encontró que la alfalfa de la variedad Peruana sembrada en la zona de La Loma, registró el mayor número de individuos y biomasa fresca por área, lo cual determinó que, a pesar de crecer en el suelo más arenoso y pobre, la productividad en fresco fue mayor, aunque la biomasa seca no resultó significativamente diferente comparada con la variedad Atixqueña de los camellones de El Bajío y La Laguna. Estos datos coinciden con el conocimiento del campesino en cuanto a que reconocen a la variedad Peruana como muy productiva y adaptada a condiciones de menor contenido de nutrimentos en el suelo. El análisis de regresión mostró que las variables que tienen mayor influencia y significancia sobre la biomasa seca fueron: la biomasa fresca y el número de individuos por área, lo que muestra una relación directa con la variable dependiente (biomasa seca).

**En el Capítulo IV**, “Potencial alelopático del frijol (*Phaseolus* sp) y otros cultivos” se plantearon como objetivos particulares: 1) evaluar el potencial alelopático de algunas plantas cultivadas en los camellones, mediante bioensayos *in vitro* utilizando el método de caja de petri, probando el efecto de los lixiviados acuosos de diversas variedades de dos especies de frijol (*Phaseolus vulgaris* y *P. coccineus*), haba, alfalfa, maíz y veza, sobre el crecimiento de la raíz de plantas cultivadas y malezas, y sobre el desarrollo de dos cepas de *Rhizobium leguminosarum* bv *phaseoli*; 2) realizar pruebas para detectar compuestos fenólicos en los lixiviados acuosos de leguminosas cultivadas, dada la importancia de este tipo de compuestos como aleloquímicos. La alelopatía está directamente relacionada con problemas de interferencia cultivo-malezas, cultivo-cultivo, planta-microorganismo, toxicidad de residuos de cultivos o malezas y efectos de exudados de cultivos y malezas

sobre el crecimiento de otro cultivo. Los problemas de autotoxicidad en cultivos, siembra de árboles cultivados e incluso, reforestación de bosques y selvas, también pueden referirse a problemas de interacción alelopática. Actualmente, sabemos que las interacciones alelopáticas negativas y positivas, pueden ser aprovechadas en el manejo de los recursos bióticos en los agroecosistemas. Si entendemos el mecanismo de estas interacciones alelopáticas, podemos poner a trabajar a los compuestos aleloquímicos en favor de la agricultura.

Los principales resultados de los experimentos *in vitro* mostraron efectos estimulantes de los lixiviados acuosos de leguminosas frescas, en especial alfalfa y frijol Pinto, sobre el crecimiento de la raíz de plántulas de otros cultivos. Los lixiviados de plantas secas fueron, en general, inhibitorios para el crecimiento de la raíz de las plantas cultivadas. En este caso particular, la explicación posible es que en estos últimos lixiviados hay mayor concentración de alelopáticos, los cuales, a dosis bajas (lixiviados de plantas frescas), producen estimulación del crecimiento, en cambio a dosis mayores (lixiviados de plantas secas), producen inhibición. Por otro lado, los lixiviados de frijoles frescos y secos tuvieron, en general, efectos inhibitorios sobre muchas especies de malezas y, por el contrario, los lixiviados de malezas fueron en general estimulantes para el crecimiento de frijoles y ayocotes. También se observó un efecto estimulante de los lixiviados de leguminosas sobre *Rhizobium*. Sólo los lixiviados de dos arvenses, *Simsia amplexicaulis* y *Tradescantia crassifolia*, inhibieron a las dos cepas de *Rhizobium*. En esta gama de respuestas pueden estar involucrados diferentes aleloquímicos, como los fenoles, que pueden actuar al ser liberados al suelo, por un tiempo determinado, sobre otras plantas y microorganismos. La detección de fenoles en el material seco de las leguminosas mostró que los compuestos más frecuentes fueron: los ácidos  $\rho$ -cumárico,  $\rho$ -hidrozibenzoico, vainíllico y benzoico. Dos cumarinas fueron detectadas, la umbeliferona en la alfalfa y la escopoletina en la veza. Todos estos compuestos han sido reportados, como aleloquímicos involucrados en alguna relación entre plantas y microorganismos

**En el Capítulo V**, discusión general y epílogo, se comentan los principales resultados y conclusiones, las tendencias y técnicas del manejo y la conservación de recursos bajo la temática de la agricultura tradicional y de las interacciones ecológicas que se abordan en los tres principales estudios que conforman esta tesis. Asimismo, se

discute la perspectiva de la investigación futura para alcanzar mayor conocimiento en las líneas estudiadas, bajo la óptica de un desarrollo integral y sustentable. Se comenta también que en otros sitios de México y el Mundo, donde las condiciones ambientales lo permiten, se han desarrollado sistemas agrícolas similares a los camellones de Tlaxcala, con las particularidades propias de ambientes diferentes; por ejemplo, los camellones de Tabasco, desarrollados por el Instituto de Investigaciones sobre Recursos Bióticos de Xalapa, Veracruz. La propuesta final del presente trabajo es básicamente la diversificación de los cultivos, con base en la tradición, enriquecida por las aportaciones del conocimiento científico, que favorezcan la producción, alimentación y economía del campesino, la biodiversidad de los agroecosistemas, la conservación del germoplasma local y de la diversidad cultural.

**CAPÍTULO I**  
**INTRODUCCIÓN GENERAL**  
**PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**  
**OBJETIVOS Y ANTECEDENTES**

## CAPÍTULO I

### INTRODUCCIÓN GENERAL

En México existe una gran diversidad ecológica, biológica y cultural que ha permitido el desarrollo de diversos agroecosistemas tradicionales cuyo origen se remonta a épocas prehispánicas (Toledo y Carabias, 1987). Como ejemplo de ello, tenemos el manejo del agua y el suelo en las zonas desérticas por algunas tribus indígenas del norte del país, la creación de "chinampas" (Rojas, 1983), "terrazas" (Donkin, 1979) y "camellones" (Wilken, 1969) en el altiplano mexicano y el cultivo del maíz y huertos familiares por los mayas en el sureste del país (Barrera *et al.*, 1976).

Son numerosos los estudios donde se muestra que algunos grupos de campesinos e indígenas mexicanos poseen un amplio conocimiento, de carácter empírico, de los ecosistemas y sus elementos- suelo, agua, plantas y animales- a partir de los cuales el productor diseña, adapta y aplica tanto tecnologías como estrategias de producción. Algunos ejemplos pueden ilustrar esta situación. Así, los tzeltales de Chiapas son capaces de distinguir 1200 especies de plantas, en tanto que los mayas de la península de Yucatán reconocen 900 y los purépechas de Pátzcuaro alrededor de 500 (Toledo, 1992).

Otro rasgo valioso de estas culturas es su conocimiento de los suelos. Por ejemplo, los chinantecos de Oaxaca distinguen siete unidades básicas medioambientales, cada una de las cuales posee diferentes vocaciones y diversos usos. En Pátzcuaro, los purépechas distinguen 17 de los 18 tipos de suelo reconocidos en el sistema FAO - UNESCO. Así mismo, los mayas poseen 12 términos distintos para designar, con lujo de detalle, todo el proceso por el cual la selva tropical húmeda, convertida en área agrícola, va restituyéndose a través de la sucesión ecológica (Gómez-Pompa, 1987).

El conocimiento tradicional sobre los suelos, los climas, las plantas, los animales y los ecosistemas tiende a poner en práctica, dentro del contexto de su propia estrategia productiva global, estrategias particulares de producción y consumo de alimentos con base en la diversidad de las especies vegetales y animales, la dinámica de sus poblaciones y ciclos biológicos, sus valores nutritivos, el clima, sus posibilidades tecnológicas, etc., (Toledo, 1992). Hoy en día se reconoce que las formas tradicionales de producción y consumo de alimentos constituyen adaptaciones adecuadas a las condiciones ecológicas y tecnológicas de cada una de las culturas (Francis, 1986; Gliessman, 1986, Altieri, 1987).

Como parte de este manejo tradicional de sistemas agrícolas existen los denominados “camellones”, que son campos cultivados en zonas inundadas, caracterizados por ser parcelas elevadas rodeadas de canales de agua y árboles sembrados en sus orillas. Estas cualidades los asemejan en gran medida, a las ‘chinampas’ de la Cuenca de México. En los camellones se realizan prácticas de policultivo y rotación de cultivos durante todo el año, dada la disponibilidad continua de agua de riego, combinando el maíz con una gran diversidad de especies cultivadas y arvenses, por ejemplo, leguminosas comestibles y forrajeras que se cultivan en diferentes épocas del año y con diversa distribución espacial: asociaciones de frijol trepador y maíz, intercalando melgas de alfalfa, o la mezcla de la veza con la avena, todas las cuales se cultivan con distintos fines: como alimento humano, forrajes y mejoradoras y/o protectoras del suelo.

## **PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

A pesar de la gran importancia que en México tienen los agroecosistemas tradicionales, muchos de ellos han sufrido un proceso de transformación y deterioro a lo largo de los últimos cuatro siglos. Un ejemplo de esto se encuentra en la agricultura chinampera en Xochimilco, cuyas causas de deterioro se relacionan con las políticas y acciones estatales para desecar la cuenca de México, iniciadas en el siglo XVII con las obras de Huehuetoca (Romero, 1993), con el crecimiento urbano e industrial desmedido a costa de las áreas agrícolas (Canabal *et al*; 1992) y la severa contaminación del agua (Bojórquez y Villa, 1995).

Otros agroecosistemas están, de igual modo, en proceso de desaparición, como sucede en el caso de los sistemas agrícolas mayas de la Selva Lacandona en Chiapas, los que se han ido modificando, a través del tiempo y el espacio, desde variados e intensivos, y más elaborados como las terrazas, los camellones y los campos elevados, los huertos y pequeños jardines cerca de las casas, donde se manejaban policultivos y una gran variedad de frutas silvestres para autoconsumo y venta, hasta los simples e intensivos. Los indígenas de la selva Lacandona lograron establecer un adecuado y variado manejo de la selva mediante el cultivo de muy diversas especies aprovechables, pero a partir del

año 830 DC se inicia el colapso de la civilización maya y toda la región sufrió una catástrofe demográfica, cultural y ecológica; a esto se suma el vacío de continuidad en el conocimiento adquirido sobre la agricultura que había desarrollado un pueblo brillante y adaptado a la selva durante casi 3,000 años; ahora sólo quedan algunos grupos que continúan aplicando estas técnicas (Caballero, 1978).

La destrucción del ecosistema y sus elementos provoca la desaparición de especies y, en consecuencia, de su manejo. En el siglo XX, en los años cuarenta, se abren las puertas de un masivo deterioro ecológico en México, debido a la explosión demográfica, las irracionales explotaciones forestales, la ganadería extensiva – y se intensifica la extracción de maderas preciosas y la resina del chicle en las selvas tropicales. Estos últimos ecosistemas son los que reportan los desmontes más importantes, debido a la creación de nuevos centros de población promovidos por la Secretaría de la Reforma Agraria, la adopción de modelos agrícolas tecnificados, dependiente de insumos y subsidios variados, proceso que exigió el desmonte y la desecación de amplias superficies de tierra húmeda; de la misma manera, la explotación petrolera y la llegada de inmigrantes que provenían de ambientes diferentes y, por lo tanto, tenían un desconocimiento de las características ecológicas de las nuevas zonas donde se establecieron, contribuyeron al inadecuado aprovechamiento de los recursos y a su destrucción (Casco, 1990).

Los sistemas agrícolas de los camellones no fueron la excepción, también sufrieron cambios no sólo en lo ambiental con respecto al clima y a la alteración en la calidad del agua, sino también en el manejo y tecnología agrícola aplicada; los campesinos empezaron a pasar del policultivo al monocultivo, del uso de abonos orgánicos al de fertilizantes químicos, de la yunta al tractor; y en cuanto a lo social, se dió un proceso de pérdida de ciertos conocimientos culturales, ya que el productor cambió sus costumbres e ideología y se inclinó hacia una modernidad que, aparentemente, le abría nuevas opciones para mejorar sus condiciones de vida, que le daban mayor seguridad con base en un salario determinado, jornadas de trabajo fijas y prestaciones en cuanto a aspectos de salud se refiere (González-Jácome, 1986). Todo este proceso, empezó a alejar del trabajo de campo a muchos campesinos, ya que las condiciones de producción y comercialización eran inciertas, inseguras y riesgosas, y con un apoyo cada vez menor del gobierno, lo que

provocó la migración de mucha gente del campo a zonas industriales o urbanas más seguras y mejor remuneradas.

Por otro lado, esta crisis ecológica, expresada en fenómenos tales como la pérdida y contaminación de suelo y recursos hidráulicos, la deforestación (Gomez-Pompa, 1990), la salinización, la extinción de flora y fauna (Caballero, 1990), y los cambios climáticos, aunada a una crisis aún más grave de carácter socio-cultural: la pérdida de conocimientos sobre el aprovechamiento racional de los recursos naturales, los valores y las vocaciones tradicionales (Casco, 1990), fue induciendo paralelamente cambios significativos en la manera de concebir la investigación científica y en la de enfocar los problemas de manejo de los recursos naturales. Dentro de este contexto, surgieron nuevas corrientes de investigación científica dirigidas a valorar, en su justa medida, al manejo de recursos en los sistemas tradicionales, que lejos de ser sistemas primitivos e inalterables, se han reconocido como sofisticados, dinámicos y apropiados para las particulares condiciones naturales de muchas regiones de nuestro país.

Es indudable que el conocimiento tradicional de la sociedad rural sobre la naturaleza es esencial y punto de partida para entender los procesos que se llevan a cabo en los agroecosistemas (Altieri, 1987). El conocimiento empírico del campesino, aunado al conocimiento científico sobre el papel de cada componente dentro de los agroecosistemas, así como a las condiciones sociales existentes, constituye uno de las variables más importantes que deben tomarse en cuenta en los programas diseñados para mejorar la producción agrícola y preservar la cultura, la biodiversidad y, en una palabra, los principales ecosistemas en donde se llevan a cabo todos los procesos necesarios para la existencia de la vida en la tierra.

## ANTECEDENTES Y OBJETIVOS

Bajo el planteamiento de la pérdida del conocimiento tradicional y auto-sustentable de los recursos naturales en los agroecosistemas, que se traduce en pérdida del conocimiento sobre las relaciones ecológicas que entrelazan a los recursos bióticos con los abióticos y pérdida de la biodiversidad y del genoma de cultivos ancestrales adaptados al ambiente, plantas silvestres, animales y microorganismos, se propuso como eje central de esta tesis, describir y evaluar las características, uso y manejo de algunos recursos naturales que el campesino utiliza de manera tradicional en los camellones de Tlaxcala.

Se estableció como objetivo general, investigar sobre las interacciones culturales y ecológicas en el manejo tradicional de los recursos bióticos relacionados con las plantas cultivadas y silvestres de los camellones del poblado de Santa Inés Tecuexcomac, Tlaxcala, en sus tres zonas agrícolas: El Bajío, La Laguna y La Loma, en particular en el cultivo de leguminosas (calidad del agua, producción de alfalfa y potencial aleloquímico de algunas de las más importantes), para enmarcar los tres capítulos que constituyen el presente trabajo:

**I. El primer capítulo:** “Los camellones y el cultivo tradicional de las leguminosas en Santa Inés Tecuexcomac, Tlaxcala”,

El agroecosistema de los camellones ha sido estudiado por otros autores; en sus investigaciones, se menciona que los camellones y el sistema de regadío en los mismos son de origen prehispánico (Darch, 1983); los camellones y otros sistemas de regadío se relacionan con el desarrollo de la civilización y de los centros urbanos en diferentes regiones de Mesoamérica que, desde el siglo XVI, abarca un área de poco más de 1.100.000 km<sup>2</sup>, desde el río Sinaloa al noroeste de México, y las cuencas del Lerma y Soto de la Marina en la Costa del Golfo, hasta el sur por el río Ulúa en el Golfo de Honduras y Punta Arenas en Costa Rica. En Mesoamérica se desarrolló un patrón de civilización mediante el cual las culturas compartieron una serie de rasgos básicos, como la utilización del calendario ritual de 260 días, una concepción del universo en la que el espacio y el tiempo se consideraban como un continuum, con un comportamiento cíclico y recurrente, varios elementos en el campo de la religión, incluyendo deidades de categoría similar, captura de prisioneros y sacrificios humanos, un sistema social estratificado basado en el

prestigio, el cultivo del maíz, la calabaza y el frijol como recursos básicos de subsistencia, la confección de libros manuscritos elaborados en pergamino de papel amate y piel de venado, la práctica del juego de pelota en canchas de piedra, la construcción de estructuras piramidales y, en definitiva, el sentido de un origen cultural común (Armillas, 1949; Palerm y Wolf, 1972: [www.artehistoria.com/contextos/1377.htm](http://www.artehistoria.com/contextos/1377.htm)).

Los camellones constituyen una forma de agricultura intensiva en áreas de inundación permanente o estacional, las cuales pueden transformarse en campos agrícolas gracias a la construcción de plataformas artificiales en donde se integran una gran red de canales y zanjas que controlan el nivel del agua dentro del sistema, para disminuir los niveles de sequía o inundación propia de la estación de lluvias. Cuando estos canales no tienen una cubierta de cemento, permiten el crecimiento de una densa vegetación y acumulación de agua, como sucede en las zanjas que bordean los camellones de Santa Inés Texuexcomac, construidos en 1942 y ubicados en la parte más baja de la cuenca Atoyac-Zahuapan, ocupando el área de una antigua laguna; estos camellones siguen un patrón reticular con zanjas bordeadas con árboles frutales y ailes (*Alnus acuminata*, Betulaceae).

González-Jácome (1986) presenta el análisis de datos estadísticos obtenidos de diversas fuentes del INEGI correspondientes al periodo de 1970 a 1980 de la zona suroeste de Tlaxcala. El estudio abarca características demográficas, ambientales en relación con el clima, y tecnológicas con respecto a los cuatro tipos de manejo agrícola: los camellones, las terrazas, los huertos y los monocultivos. La autora resalta que el manejo del agua constituye un aspecto fundamental en la agricultura de la región, la cual se realiza sobre la base de sistemas de riego pequeños, construidos y manejados con poca inversión de capital, con fuerza de trabajo local y tecnología aparentemente simple. La regulación del nivel y el flujo del agua son aspectos importantes y, dependiendo de las características de la temporada de lluvias, los campesinos deciden si tienen que almacenar o drenar el agua de sus parcelas, para mantener el nivel en el sistema. Con base en los resultados obtenidos, González-Jácome cita como causas de la alteración en las tasas de rendimiento agrícola del estado a: la disminución de la cantidad de agua disponible para la agricultura y a su contaminación, el incremento demográfico, la expansión urbana, la disminución del área agrícola y el abandono paulatino de las prácticas tradicionales,

problemática que permitió establecer parte del marco de referencia para los estudios planteados en la presente tesis.

Altieri y Trujillo (1987) realizan un estudio sobre el manejo tradicional del maíz en el del Estado de Tlaxcala. Estos autores describen a los camellones como sistemas agroforestales, ya que los árboles son elementos conspicuos en el paisaje agrícola, ya sea en las orillas de los camellones o interplantados con el maíz o con melgas de alfalfa. Los patrones de cultivo que describen eran principalmente: maíz con frijol común, con frijol ayocote, con alfalfa y con haba. En relación con la fertilización orgánica se menciona el uso constante de estiércol, o bien, cuando el agricultor tiene más recursos, compra fertilizantes químicos; los más comunes fueron: el superfosfato de calcio o de amonio, la urea o la mezcla 18-46-0 (nitrógeno, fósforo, potasio). Por otra parte, encuentran gran influencia de la diversidad de la vegetación sobre la relación planta-suelo y la densidad de población de insectos plaga y sus enemigos naturales asociados.

Anaya *et al.* (1987) llevan a cabo un estudio sobre el manejo tradicional en un camellón de Santa Inés Tecuexcomac y realizan un experimento para conocer el efecto de la incorporación de hojas de *Alnus acuminata* (aile) y *Berula erecta* (sin. *Berula angustifolia*) (berro acuático), como abonos verdes, sobre la producción de maíz, frijol y calabaza, presencia de arvenses y desarrollo de *Rhizobium* en las raíces del frijol. Ambos abonos verdes redujeron el número de arvenses en las parcelas respectivas, sin embargo, la producción de maíz no se vio afectada por ninguno de estos abonos; en cambio la producción de frijol, se estimuló con ambos tratamientos, y la de la calabaza, solo con el tratamiento de *Berula*. Se realizaron asimismo, estudios *in vitro* sobre el potencial alelopático de los cultivos y malezas presentes en este camellón. Este trabajo sirvió como antecedente y punto de partida para profundizar sobre el conocimiento campesino y sobre el potencial alelopático de cultivos en especial de leguminosas y de arvenses.

Por lo que en este estudio se tuvo como objetivos los siguientes: 1) describir la dinámica en el manejo de los camellones a través del tiempo, con base en una revisión bibliográfica completa. 2) describir la diversidad vegetal del agroecosistema en relación con las especies de plantas presentes en él: cultivos, arvenses, arbustos y árboles que circundan las orillas de los camellones, así como las plantas acuáticas en los canales que los rodean, 3) describir los patrones y prácticas de cultivo general en los camellones, en

los ciclos primavera-verano y otoño-invierno; 4) describir el manejo agrícola tradicional particular de las leguminosas que se cultivan de manera habitual en los camellones, tanto en el tiempo como en el espacio. Los objetivos 3 y 4 se basaron en las encuestas detalladas que se realizaron a los campesinos de este poblado.

**II) El segundo capítulo:** “Características químicas del suelo, calidad del agua de riego y producción de alfalfa (*Medicago sativa* L.), bajo manejo tradicional en tres camellones de Santa Inés Tecuexcomac, Tlaxcala”, analiza la evaluación de las características químicas del suelo, la calidad del agua de riego y de la producción de la alfalfa bajo manejo tradicional en tres zonas distintas: La Laguna, El Bajío y La Loma durante la época de secas.

El estudio se planteó debido a los cambios ambientales que el área ha sufrido en los últimos años, en particular, la disminución de la calidad del agua de uno de los principales ríos del suroeste del estado de Tlaxcala, el río Atoyac, el cual recibe las aguas residuales de un corredor industrial a lo largo de su trayecto. González-Jácome (1986) menciona, con base en datos obtenidos del INEGI de 1970 y 1980, que en 1970 esta región poseía 76.4% de tierras de riego de la entidad; para 1980 este porcentaje había decrecido en un 53.1%, situación relacionada con el crecimiento industrial sobre las tierras agrícolas en el piso de la cuenca, aunada a la ampliación de la red de caminos que disminuyó la presencia de canales sin revestir del antiguo sistema de camellones. En cuanto a la contaminación del agua (INEGI, 1984), en 1981 se detectaron, en tres municipios, diferentes tipos de contaminantes: en Ixtacuixtla (al cual pertenece Santa Inés Tecuexcomac) se cuantificaron 800 kg diarios de carga orgánica, de los cuales 200 kg provenía de la industria de bebidas alcohólicas. En el municipio de Xicoténcatl, la industria química producía 1,100 kg de carga orgánica y la industria de bebidas 600 kg, y en el municipio de Xicotzingo se añadía a la cuenca una carga orgánica diaria de 1,600 kg.

El conocimiento de la calidad del agua aplicada a una zona agrícola de riego es de gran importancia en relación al impacto que este factor ecológico puede tener sobre la estructura, la salinidad y la fertilidad del suelo, así como sobre el crecimiento y la producción de cultivos (Olguín, 1997). En lo que se refiere a los estudios realizados con respecto a la calidad del agua, el Instituto de Geología de la UNAM ha realizado análisis y monitoreo de este factor en diversos sitios permanentes a lo largo del Río Atoyac, los

cuales muestran un aumento en el contenido de sales e incluso presencia de metales pesados, como resultado de las descargas domésticas e industriales a sus aguas (Rodríguez, 1992; Méndez *et al.*, 2000).

Por estas razones, en este segundo estudio se plantearon los siguientes objetivos: 1) evaluar la fertilidad del suelo en las tres zonas del poblado de Santa Inés Tecuexcomac bajo manejo tradicional: El Bajío, La Laguna y La Loma; 2) evaluar la calidad química del agua de riego en las zanjas que rodean a las parcelas de la zona de El Bajío y La Laguna y del agua de pozo en La Loma, con base en los índices de salinidad efectiva, salinidad potencial, carbonato de sodio residual y concentración del ion cloro; y 3) determinar, analizar y comparar la productividad del cultivo de alfalfa en estas tres áreas de la localidad de estudio, en la época de invierno.

**III) El tercer capítulo:** “Potencial alelopático del frijol (*Phaseolus* sp.) y otros cultivos”, para este particular estudio se eligieron algunas especies de la familia de las leguminosas o Fabaceae por ser uno de los recursos vegetales más importantes y que más se siembran en Santa Inés Tecuexcomac, además de otros cultivos importantes.

Las interacciones planta-planta son diversas y se establecen entre los vegetales que comparten el mismo hábitat; las que son mediadas por la liberación de metabolitos secundarios, se refieren al fenómeno denominado alelopatía. Actualmente la alelopatía se define como “cualquier proceso que involucre la producción y liberación de metabolitos secundarios por plantas y microorganismos, y que influye sobre otros sistemas biológicos” (IAS, 1996). La alelopatía está directamente relacionada con problemas de interferencia cultivo-malezas, cultivo-cultivo, planta-microorganismo, toxicidad de residuos de cultivos o malezas y efectos de exudados de cultivos y malezas sobre el crecimiento de otro cultivo. Los problemas de autotoxicidad en cultivos, siembra de árboles cultivados e incluso, reforestación de bosques y selvas, también pueden referirse a problemas de interacción alelopática. Las interacciones alelopáticas negativas y positivas, pueden ser aprovechadas en el manejo de los recursos bióticos en los agroecosistemas (Anaya, 1989). Si entendemos el mecanismo de estas interacciones alelopáticas, podemos poner a trabajar a los compuestos aleloquímicos en favor de la agricultura (Anaya, 1999).

La investigación sobre las relaciones alelopáticas entre plantas en los sistemas agrícolas, se tornó relevante a partir de 1950. En la vasta bibliografía existente se ha

estudiado este proceso en varias especies de leguminosas en el laboratorio, en invernadero y en el campo bajo diferentes prácticas agrícolas. Se ha detectado potencial alelopático en diferentes cultivos de zonas templadas, como la soya (Sarobol y Anderson, 1992), en diversas especies de tréboles (Chang *et al.*, 1969), en el frijol *Vigna radiata* L. (Chou *et al.*, 1995; Waller *et al.*, 1995; Waller y Einhellig, 1999) y en la alfalfa (Jensen *et al.*, 1984; Chung y Miller, 1995; Waller *et al.*, 1995), entre otras. Sin embargo, existe aún poca información con respecto al potencial alelopático de otras leguminosas comestibles, cultivadas y silvestres en América Latina. El género *Phaseolus* ha sido poco estudiado en relación con su potencial alelopático.

La familia Fabaceae posee de 560 a 700 géneros y de 12,000 a 17,000 especies incluidas en tres subfamilias: Mimosoidae, Caesalpinioideae y Papilionoideae (Lewis *et al.*, 2005). La familia de las leguminosas es uno de los grupos taxonómicos mejor representados en México; se encuentra ocupando el segundo lugar, después de la familia Asteraceae, con 26 tribus, 130 géneros y 1,800 especies, las cuales se distribuyen principalmente en las regiones cálidas de los estados de Chiapas y Oaxaca (Redowski, 1993). La rica flora de leguminosas ha estado presente en México desde principios del Terciario, la presencia de diversos elementos paleobotánicos sugiere que las leguminosas mexicanas tiene diferente origen geográfico: Sudamérica, Europa, Asia y África. Así mismo, grupos de esta familia se dispersaron desde diferentes habitats de México hacia otras regiones del continente americano (América del Norte, Las Antillas y Sudamérica), enriqueciendo su flora. Sousa y Delgado (1993) sugieren que a pesar de que México no es el principal centro de radiación de esta familia, si es el segundo gran centro de especiación, lo cual se refleja en que 896 especies son endémicas de México. Por ejemplo, el género *Acacia* en nuestro país está compuesto por 85 especies de las cuales 46 son endémicas (Rico, 1980).

El género *Phaseolus* es un género americano de aproximadamente 40 especies, las cuales se encuentran principalmente distribuidas en México, donde existen más de 90 % de las especies silvestres de este género. Esta gran diversidad de especies de *Phaseolus* se encuentra distribuida en una amplia gama de ambientes, desde el nivel del mar hasta zonas de montaña; por ello es muy importante que este recurso vegetal sea estudiado ampliamente, incluyendo su capacidad para producir sustancias alelopáticas, y de esta

manera tener un mayor conocimiento de las relaciones que establecen estas leguminosas con otros componentes bióticos del ambiente.

La domesticación de este género ha alterado su distribución en el continente americano, como lo demuestran los estudios de Delgado (1985) sobre cuatro especies cultivadas de *Phaseolus* antes y después de la domesticación. De las 34 especies de *Phaseolus* que existen en México, se cultivan principalmente cuatro: *P. acutifolius*, *P. coccineus*, *P. lunatus* y *P. vulgaris* (Delgado, 1985).

Las leguminosas presentan una serie de cualidades que el hombre utiliza para diversos fines: alimentación humana y animal, por su alto contenido de proteínas en sus tejidos; mejoramiento del suelo debido a su asociación con bacterias fijadoras de nitrógeno y al aporte de materia orgánica al suelo (Allen y Allen, 1980); uso maderable (Skerman *et al.*, 1991); producción de resinas y frutos (Duke, 1981), y uso medicinal (Aguilar *et al.*, 1994) por su contenido de diversos compuestos bioactivos.

Con base en lo anterior, la investigación del tercer capítulo se realizó con el objetivo general de conocer si las principales leguminosas cultivadas en Santa Inés, y otras plantas cultivadas importantes, producen y liberan algunos metabolitos secundarios bioactivos, y si éstos afectan el crecimiento de otras plantas que conviven con ellas en los camellones, así como el desarrollo de *Rhizobium* en las raíces del frijol. Los objetivos particulares de este tercer trabajo fueron los siguientes: 1) evaluar las interacciones alelopáticas entre algunas plantas cultivadas comúnmente en los camellones, mediante bioensayos *in vitro* (utilizando el método de caja de petri) probando el efecto de los lixiviados acuosos de dos especies de frijol (*Phaseolus vulgaris* y *P. coccineus*), haba, alfalfa, maíz y veza, sobre el crecimiento de la raíz de plantas cultivadas, malezas y dos cepas de *Rhizobium leguminosarum*; 2) realizar pruebas para detectar compuestos fenólicos en lixiviados acuosos de leguminosas cultivadas, dada la importancia de este tipo de compuestos como aleloquímicos. Estos objetivos se enfocaron a responder las siguientes preguntas ¿Las especies de leguminosas cultivadas en los camellones poseen un potencial alelopático que afecte el crecimiento de otras plantas cultivadas, arvenses y microorganismos como *Rhizobium*? ¿Qué tipo de compuestos están implicados en este potencial y que papel desempeñan en las interacciones bióticas planta-planta-*Rhizobium* en el agroecosistema?

## REFERENCIAS

- Aguilar, A., Camacho, R.J., Chino, S, Jáquez, P. y M.E. López. 1994. *Herbario Medicinal del Instituto Mexicano del Seguro Social*. Instituto Mexicano del Seguro Social, México, D.F.
- Allen, N.O. y Allen. K.E.1980. *The Leguminosae a Source Book of Characteristics, Uses and Nodulation*. The University of Wisconsin Press.
- Altieri, M.A. 1987. *Agroecology: The Scientific Basis for Alternative Agriculture*. Westview Press. Boulder, Colorado.
- Altieri, A.M. y Trujillo, J. 1987. The agroecology of corn production in Tlaxcala, Mexico. *Human Ecology* 15: 189-220.
- Anaya, A.L., Ramos, L., Cruz, R., Hernández, J. y Nava, R.V. 1987. Allelopathy in mexican traditional agroecosystems: a case study in Tlaxcala. *Journal of Chemical Ecology* 13: 2083-2101.
- Anaya, A.L. 1989. Papel de los aleloquímicos en el manejo de los recursos naturales. *Boletín de la Sociedad Botánica de México* 49:85-98.
- Armillas, P. 1949. Notas sobre sistemas de cultivo en Mesoamérica: cultivos de riego y de humedad en la cuenca del río de las Balsas. *Anales del Instituto Nacional de Antropología e Historia* 3:86-113.
- Barrera- Marín, A., Gómez-Pompa, A. y Vázquez-Yanes, C. 1976. El manejo de las selvas por los mayas: sus implicaciones silvícolas y agrícolas. *Biótica* 2: 47-60.
- Bojórquez, C.L. y Villa, F.R. 1995. *El Ecosistema Lacustre. Xochimilco y el Deterioro de las Chinampas*. En: T. R. Rojas (coord.). *Presente, Pasado y Futuro de las Chinampas*. pp. 85-138. CIESS y Patronato del Parque Ecológico Xochimilco, México, D.F.
- Caballero, J. 1978. Estudio botánico y ecológico de la región del río Uxpanapa, Ver. El uso agrícola de la selva. *Biótica* 3: 63-83.
- Caballero, J. 1990. *El Uso de la Diversidad Vegetal en México: Tendencias y Perspectivas*. En: E. Leff. (coord.). *Medio Ambiente y Desarrollo en México*. pp. 257-284. Centro de Investigaciones Interdisciplinarias en Humanidades, Universidad Nacional Autónoma de México. México, D.F.

- Canabal, C.B., Burela, R.G. y Torres-Lima, P. 1992. *La Ciudad y sus Chinampas*. Universidad Autónoma Metropolitana - Xochimilco. México, D.F.
- Casco, M.R. 1990. *El Uso de los Recursos del Trópico Mexicano: Caso de la Selva Lacandona*. En: E. Leff. (coord.). *Medio Ambiente y Desarrollo en México*. 115-148 p. Centro de Investigaciones Interdisciplinarias en Humanidades, Universidad Nacional Autónoma de México. México, D.F.
- Chang, C.F., Susuki, A., Kumari, S. y Tamura, S. 1969. Chemical studies on “clover siknes”. Part II. Biological functions of isoflavonoids and their related compounds. *Agric. Biol. Chem.* 33: 398-408.
- Chou, C.H., Waller, G.R., Cheng, C.S., Yang, C.F. y Kim, D. 1995. Allelochemical activity of natural occurring compounds from mungbean (*Vigna radiata* L.) plants and their surrounding soil. *Bot. Bull. Acad. Sin.* 36: 9-18.
- Chung, I.M., y Miller, D.A. 1995. Natural herbicide potential of alfalfa residues on selected weed species. *Agron. J.* 87: 762-767.
- Cox, G.W., Atkins, M.D. 1979. *Agricultural Ecology*. W.H. Freeman and Sons, San Francisco, California.
- Darch, J.E. (Ed.). 1983. *Drained Field Agriculture in Central and South America*. BAR International Series, Wallingford, Oxford.
- Delgado, S.A. 1985. *Systematics of the genus Phaseolus in Mexico and Central America*. Ph. D. Dissertation. University of Texas. Austin.
- Donkin, R.A. 1979. *Agricultural Terracing in the Aboriginal New World*. Viking Fund Publications in Anthropology. The University of Arizona Press.
- Duke, A.J. 1981. *Handbook of Legumes of World. Economic importance*. Plenum Press, Londres. 155 -161 pp.
- Francis, C. (ed.). 1986. *Multiple Cropping: Potentials and Practices*. Macmillan, Nueva York.
- Gliessman, S. R. 1986. *Plant-Plant Interactions in Multiple Cropping Systems*. En: C. Francis, (ed.). *Multiple Cropping: Potentials and Practices*. Macmillan, Nueva York.

- González –Jácome, A. 1986. Agroecología del suroeste de Tlaxcla. Memorias del Primer Simposio Internacional de Investigaciones Socio-Históricas sobre Tlaxcala, México. Tlaxcala.
- Gómez-Pompa, A. 1987. *On Mayan Silviculture. Mexican Studies*. University of California Press.
- Gómez-Pompa, A. 1990. *El Problema de la Deforestación en el Trópico Mexicano*. En: E. Leff. (coord.). *Medio Ambiente y Desarrollo en México*. pp. 229-255. Centro de Investigaciones Interdisciplinarias en Humanidades, Universidad Nacional Autónoma de México. México, D.F.
- IAS. 1996. International Allelopathy Society. Proceedings of the First World Congress on Allelopathy. Cádiz.
- INEGI. 1984. Manual de estadísticas básicas del estado de Tlaxcla. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, México, D.F.
- Jensen, E.H., Meyers, K.D., Jones, C.L. y Leedy, C.D. 1984. Effect of alfalfa foliage and alfalfa extracts on alfalfa seedling vigor. Report 29<sup>th</sup> Alfalfa Improve Conf., p. 38.
- Lewis, G., Shrire, B., MacKinder y Lock, M. (eds.). 2005. *Legumes of the world*. Royal Botanical Gardens, Kew.
- Méndez-García, T., Rodríguez-Domínguez, L. y Palacios-Mayorga, S. 2000. Impacto del riego con aguas contaminadas, evaluado a través de la presencia de metales pesados en suelos. *Terra* 18: 277-288.
- Olguín, O.M. 1997. *La Calidad de las Aguas de Riego*. Universidad Autónoma de Chapingo. Departamento de Publicaciones. Chapingo, Estado de México.
- Palerm, A. y Wolf, E. 1972. *Agricultura y Civilización en Mesoamérica*. Ediciones Guernika, México, D.F.
- Rico, A.L. 1980. El género *Acacia* (Leguminosae) en Oaxaca. Tesis de Licenciatura en Biología. Universidad Nacional Autónoma de México. México, D.F.
- Rodríguez, D.L. 1992. Evaluación de los grados de contaminación del río Atoyac por (Pb, Cr, Co, Cd, Ni, Fe, Cu, Mn, y Zn), surfactantes, boro, grasas y acietes en el transecto Chiautla-Atlixco, estado de Puebla. Tesis de Licenciatura en Biología. Universidad Nacional Autónoma de México-FES Zaragoza. México, D.F.

- Rojas, R.T. 1983. *La Agricultura Chinampera. Compilación Histórica*. Universidad Autónoma de Chapingo. Chapingo. Estado de México.
- Romero, L.P. 1993. *Impacto Socioambiental, en Xochimilco y Lerma, de las Obras de Abastecimiento de la Ciudad de México*. Universidad Autónoma Metropolitana-Xochimilco. México, D.F.
- Rzedowski, J. 1993. *Diversity and Origins of the Phanerogamic Flora of Mexico*. En: T.P. Ramamoorthy, R. Bye, A. Lot y J. Fa (eds.). *Biological Diversity of Mexico: Origins and Distribution*. pp. 459-511. Oxford University Press, Nueva York.
- Sarobol, E. y Anderson, I.C. (1992). *Improving yield of corn-soybean rotation: role of allelopathy*. En: S.J.H. Rizvi and V. Rizvi, (eds.). *Allelopathy; Basic and Applied Aspects*. pp. 87-100. Chapman and Hall, Londres.
- Skerman, J.P., Cameron, G.D. y F. Riveros. 1991. *Leguminosas Forrajeras Tropicales*. Colección FAO: Producción y Protección Vegetal. Roma. 707 p.
- Sousa, S.M. y Delgado, S.A. 1993. *Mexican Leguminosae: Phytogeography, Endemism, and Origins*. En: T. P. Ramamoorthy, R. Bye, A. Lot y J. Fa (eds.). *Biological Diversity of Mexico: Origins and Distribution*. Oxford University Press, Nueva York. pp. 459-511.
- Toledo, V.M. y Carabias, J. 1985. *Ecología y Autosuficiencia Alimentaria*. Ed. Siglo XXI. México, D.F.
- Toledo, V.M. 1992. What is ethnoecology? Origins, scope and implications of a rising discipline. *Etnoecológica* 1: 5-22.
- Waller, G.R., Jurzysta, M. y Thorne, R.L. 1995. Root saponins from alfalfa (*Medicago sativa* L.) and their allelopathic activity on weeds and wheat. *Allelopathy Journal*. 2:321-342.
- Waller, G.R. y Einhellig, F.A. 1999. *Overview of Allelopathy in Agriculture, Forestry, and Ecology*. En: C.H. Chou, G.R. Waller y C. Reinhardt (eds.). *Biodiversity and Allelopathy: From Organisms to Ecosystems in the Pacific*. pp. 221-245. Academia Sinica, Taipei.
- Wilken, C. G. 1969. Drained-field agriculture: an intensive farming system in Tlaxcala, Mexico. *The Geographical Review* LIX: 215-241.

## **CAPÍTULO II**

### **LOS CAMELLONES Y EL CULTIVO TRADICIONAL DE LAS LEGUMINOSAS EN SANTA INÉS TECUEXCOMAC, TLAXCALA**

(Publicado en la Serie Académicos No 53 de la Universidad, Autónoma Metropolitana  
Xochimilco, CBS)

VERÓNICA NAVA-RODRÍGUEZ<sup>1</sup>, ANA LUISA ANAYA<sup>2</sup> y ROCÍO CRUZ-ORTEGA<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Universidad Autónoma Metropolitana Xochimilco. Departamento de Producción Agrícola y  
Animal. Calzada del Hueso 1100, Villa Quietud, México, D.F.

<sup>2</sup>Instituto de Ecología, UNAM. Circuito Exterior, Ciudad Universitaria. 04510, México, D.F.

## **CAPÍTULO II**

### **LOS CAMELONES Y EL CULTIVO TRADICIONAL DE LAS LEGUMINOSAS EN SANTA INÉS TECUEXCOMAC, TLAXCALA**

(Publicado en la Serie Académicos No 53 de la Universidad, Autónoma Metropolitana  
Xochimilco, CBS)

#### **RESUMEN**

En este trabajo se definen las características generales de los agroecosistemas tradicionales y se aborda el tema particular de los “camellones”, sistemas agrícolas de campos drenados o elevados de origen prehispánico, dando la información relacionada con la evolución de su estructura y manejo durante la época de la colonia hasta nuestros días y los aspectos ecológicos y agrícolas más importantes acerca de su manejo.

Se presentan los resultados obtenidos con respecto a la descripción de la diversidad de especies vegetales terrestres y acuáticas en los camellones de Santa Inés Tecuexcomac, poblado del municipio de Ixtacuixtla de Mariano de Matamoros en el suroeste del estado de Tlaxcala, y el manejo agrícola en los ciclos primavera-verano y otoño-invierno.

Se describen de manera particular las prácticas de manejo agrícola, la variedad de cultivos, sus usos y principales problemas de deterioro ambiental. Asimismo, se detalla el manejo de los recursos en el cultivo tradicional de la alfalfa, frijol, haba y veza, que son las leguminosas más comúnmente sembradas en Santa Inés Tecuexcomac. Se hace también una breve referencia de las actividades ganaderas, no sólo por su importancia para proporcionar alimento a los habitantes del lugar, sino también como una fuente de ingresos a los mismos; así mismo, por su importancia como fuente de materia orgánica utilizada en el abonado de los camellones.

La información presentada se obtuvo por medio de revisión bibliográfica, de visitas, trabajo de campo y encuestas a los campesinos en estos “camellones”.

Finalmente, se manifiesta la importancia de difundir los conocimientos empíricos de los campesinos sobre el uso múltiple y racional de los recursos y del reciclaje de sus componentes, ante la peligrosa pérdida de estos valores culturales en México.

## INTRODUCCION

Los agroecosistemas son ecosistemas modificados, creados y manejados por el hombre para producir alimentos y otros productos. Estos sistemas agrícolas pueden ser considerados como unidades funcionales de la biósfera, en donde los recursos naturales como la energía solar, el agua, el suelo, las especies vegetales, animales y los microorganismos constituyen elementos que se encuentran integrados y articulados en su ambiente (Altieri, 1987).

El campesino hace uso de sus habilidades técnicas y culturales con el fin de que los cultivos que maneja se adapten a las condiciones ambientales, los cuales comprenden factores físicos, químicos y bióticos, así como socio-económicos. Al diseñar su sistema agrícola, el campesino se convierte en una de las variables ecológicas esenciales del mismo al influir en determinar su composición, funcionamiento y estabilidad.

En la literatura se distinguen dos grandes tipos de sistemas agrícolas desde el punto de vista de su manejo: 1) los agrosistemas modernos o comerciales, que generalmente abarcan grandes extensiones de tierra, con requerimientos de energía adicional de tipo mecanizado y aplicación de grandes cantidades de fertilizantes y plaguicidas para la producción, generalmente de monocultivos; y 2) los agroecosistemas tradicionales, los cuales se caracterizan porque la fuerza de trabajo es proporcionada principalmente por el hombre y sus animales. En este último tipo, el campesino ha heredado y desarrollado un sistema de cultivo complejo que le ha permitido cubrir sus necesidades de subsistencia por siglos, aun bajo condiciones ambientales adversas, dependiendo en menor medida de insumos externos y costosos. Los agroecosistemas tradicionales ejemplifican la experiencia acumulada por el campesino con su medio circundante (Cox y Atkins, 1979).

Altieri (1987) menciona que el agricultor, al manejar adecuadamente y de manera empírica algunos procesos ecológicos, ha permitido la existencia de estos agroecosistemas por largos períodos de tiempo, conservando sus recursos naturales. Algunos de estos procesos son: 1) el manejo de la diversidad genética; 2) el diseño de policultivos que permiten la existencia de continuidad espacial y temporal de las plantas y aseguren una producción constante de alimento, una dieta más diversa y una cubierta vegetal que protege al suelo; 3) el mantenimiento de la fertilidad del suelo por diversos medios que implican el reciclaje de nutrientes de materia orgánica diversa y la aplicación de sistemas de rotación y

siembra de leguminosas en sus patrones de intercultivo (Wilken, 1969); 4) la conservación y control del agua por medio de la siembra de cultivos adaptados a la cantidad y distribución de las lluvias, así como del uso de diversas técnicas de captación de agua: "cajetes" en zonas de declive y desagüe, y construcción de camellones elevados, como los existentes en el estado de Tlaxcala, en los casos de exceso de agua (Darch, 1983); 5) la protección de los cultivos y el control de la sucesión; 6) la conservación de la diversidad florística representada por plantas cultivadas y silvestre (Caballero y Mapes, 1985; Casas *et al.*, 1987).

Un ejemplo de estos sistemas tradicionales son los camellones o agricultura de campos drenados o elevados. Estos son parcelas de cultivo rectangulares rodeadas por canales de agua y bordeados de árboles y arbustos. En este trabajo se describen los camellones en la localidad de Santa Inés Tecuexcomac en el estado de Tlaxcala. A pesar de ser el más pequeño de México, este estado posee un acervo cultural agrícola rico en tradiciones. Inclusive en los camellones, se llegó a obtener en el pasado, una producción de maíz -con variedades criollas- equivalente a 6 ó 7 Ton/ha (el promedio en México es de 0.5 a 1.5 ton/ha) (Wilken, 1969; González-Jácome, 1986; Wellhausen, 1986).

Los camellones de Tlaxcala se encuentran ubicados en el suroeste del estado, entre los ríos Zahuapan y Atoyac. Esta zona es importante porque comprende 19 de los 44 municipios del estado, posee 55% de la población total y en ella se concentra la actividad agrícola con las mejores condiciones ambientales. Una característica limitante en la producción agrícola es la presencia de mantos freáticos elevados, un mal drenaje y formación de ciénegas. Este hecho permitió la conformación de un embalse donde las condiciones naturales se aprovecharon para crear el extenso sistema de camellones artificiales, cuya finalidad fue controlar el nivel del agua y las inundaciones anuales (Armillas, 1971; Wilken, 1969; González-Jácome, 1986; Anaya *et al.*, 1987).

Dada la importancia en cuanto al manejo y uso de los recursos naturales han surgido investigaciones dirigidas a revalorizar los agroecosistemas tradicionales que aún existen, los cuales, lejos de ser primitivos y obsoletos, se han reconocido como sistemas complejos, dinámicos y apropiados para lograr una producción sostenible donde las condiciones sean propicias. Indudablemente, el conocimiento tradicional que la sociedad rural tiene sobre la naturaleza es esencial, y constituye el punto de partida para entender los procesos que se

llevan a cabo en estos agroecosistemas (Anaya *et al.*; 1982; Anaya, 1999; Casas *et al.*, 1994; Caamal-Maldonado *et al.*; 2001; Toledo, 1988; Toledo, 1992).

Por la importancia ecológica, económica y cultural del manejo agrícola de los camellones y del cultivo de diversas leguminosas en los mismos, los objetivos de este trabajo fueron compilar información bibliográfica y de experiencias directas con los campesinos, con respecto al origen y los cambios de los camellones a través del tiempo, el conocimiento de la composición vegetal de plantas cultivadas, especies de arvenses, árboles y plantas acuáticas, así como del manejo agrícola y de los recursos naturales en los camellones en general y en especial en lo que se refiere al cultivo tradicional de leguminosas,

## **ANTECEDENTES SOBRE EL ORIGEN Y MANEJO DE “CAMELLONES” O AGRICULTURA DE CAMPOS DRENADOS**

### *Los “Camellones”, Campos Drenados o Elevados*

Los camellones prehispánicos fueron definidos por Darch (1983) como una forma intensiva de agricultura de tierras húmedas, realizada sobre plataformas artificiales que se localizan en áreas con inundaciones permanentes o estacionales.

Los camellones se denominan campos drenados o elevados, dependiendo del énfasis que se quiera hacer en la presencia de canales o en la plataforma; el término “camellones” fue aplicado por los primeros cronistas del siglo XVI. El término “campo drenado” se utiliza comúnmente para describir tierras recuperadas de inundaciones periódicas o perennes.

Los campos drenados son sólo una parte de un complejo de técnicas de manejo de agua y suelo, y de métodos de cultivo que constituyen unidades agrícolas muy peculiares en las regiones donde existen, las cuales contribuyen a conformar un paisaje rural distintivo.

El campo drenado es un término que únicamente enfatiza el trabajo de ingeniería, sin tomar en cuenta su utilización subsecuente. Por lo tanto el término "agricultura de campos drenados", sugerido por Wilken (1969), es un término genérico para el complejo total de métodos para mejorar y aprovechar este tipo de sistemas agrícolas, combinando los

aspectos de ingeniería y agricultura. Los campos drenados no sólo son más productivos, sino que se cultivan más frecuentemente que las tierras de temporal. Las mejores parcelas se llegan a cultivar hasta tres veces al año, y esto es posible gracias a la fertilidad del suelo y a que tienen agua disponible todo el año.

Los camellones que aún funcionan en Mesoamérica son: 1) la zona de Netetelco-Coronanco, Xalmimilulco, Huejotzingo y Texmelucan, en el estado de Puebla. 2) el suroeste del drenaje del río Lerma y el valle de Toluca, en el Estado de México. 3) la zona de San Antonio Arrazola, en el estado de Oaxaca. 4) pequeñas porciones de la zona de Apizaco, Huamantla, y la Cuenca del Atoyac-Zahuapan, en el Estado de Tlaxcala.

Algunas de estas zonas se encuentran en vías de conversión en pastizales, áreas industriales o urbanas.

En otras partes del mundo también se emplean o se han empleado las técnicas agrícolas de campos drenados. Denevan (1966) ha repartado un gran número de campos elevados en los Lanos de Mojos, en el este de Bolivia. También en Colombia, Parsons y Bowen (1966) descubrieron campos elevados cubriendo alrededor de 64,770 ha a lo largo del río San Jorge.

Estudios arqueológicos han demostrado que la mayor parte de las tierras bajas húmedas del continente americano estaban siendo cultivadas intensamente antes del arribo de los españoles y portugueses. En la mayoría de los casos, los campos drenados en el presente y el pasado, representan y han representado el sustento de poblaciones humanas muy numerosas, lo que es atribuible, en gran parte, a su manejo diversificado de cultivos, aplicación de fertilizantes orgánicos y presencia constante de agua en la producción agrícola (Palerm y Wolf, 1972).

### *Camellones en el México Prehispánico*

Las técnicas agrícolas y la ingeniería de campos drenados fueron bien conocidas en el México prehispánico. Canales de desagüe, siembra en almacigos y el uso de lodo de los fondos del lago y los canales como fertilizante en las chinampas del Valle de México, probablemente eran técnicas que se ponían en práctica antes de la llegada de los aztecas y pudieron haber sido usadas desde hace 2000 años (Coe, 1964).

La ciénega o laguna de Lerma fue el eje de un modo de vida cuyos antecedentes tienen sus raíces en los tiempos pre-agrícolas. El volcán Nevado de Toluca determina la mayor precipitación pluvial en todo el Valle de Toluca y es la causa de que el río Lerma se origine en la parte meridional del Valle. En el pasado el río se desbordaba dando origen a la laguna de Lerma y a las ciénegas de los alrededores. En la parte más alejada de éstas últimas, la agricultura era de ‘humedad y temporal’, existiendo una agricultura de ‘humedad’ y ‘riego’ en los bordes ribereños, en donde se construían parcelas elevadas a las que se les denominaba localmente huertas, camellones y con mayor frecuencia, chinampas. Estas parcelas se elevaban utilizando lodo del fondo de la laguna, tule, pasto y otras hierbas (Albores- Zárate, 1999).

Los chichimecas de habla náhuatl que invadieron Tlaxcala en el siglo catorce, pudieron haber tenido la oportunidad de observar estas prácticas agrícolas especializadas, en Chalco y otros pueblos chinamperos, cuando emigraron a lo largo del lado este del Valle de México. Sin embargo, parece que algunos tipos de tierras drenadas ya estaban en uso en el suroeste de Tlaxcala desde antes de la llegada de los chichimecas. En esta zona, habitada en el siglo trece por los olmecas-xicalancas, las condiciones hidrológicas parecen haber sido similares a las de los siglos subsiguientes. Los indígenas probablemente solucionaron el problema de cultivar en tierras pobremente drenadas en el piso del valle mediante la construcción de campos elevados (Armillas, 1971).

### *Camellones en el México Colonial*

Algunos de los primeros visitantes españoles reportaron presencia de pantanos y tierras saturadas de agua de lluvia o ciénegas, los cuales eran frecuentes en el período de las haciendas, como se muestra en los mapas y documentos de esa época (Mota y Escobar, 1945; Motolinía, 1951).

En el siglo XVI la mayoría de las tierras agrícolas en el suroeste de Tlaxcala ya estaba bajo el control de las haciendas (Trautmann, 1981), las cuales tuvieron que enfrentarse por más de 300 años a condiciones de mal drenaje e inundaciones en estas tierras. Una práctica necesaria y común realizada por los mayordomos de la hacienda,

consistía en ordenar a sus trabajadores, con cierta regularidad, cuatro a cinco veces al año la limpieza de los canales o zanjas que rodeaban a los camellones.

En las haciendas con grandes rebaños de animales de carga, se realizaba un sistema sencillo de rotación de la tierra. Un área se dejaba sin cultivar y las zanjas permanecían sin un mantenimiento continuo; de esta manera los campos se cubrían de pastos y pantanos. Las mulas y bueyes se alimentaban en estos campos por un período de cinco a seis años, después del cual se limpiaban las zanjas y nuevamente se cultivaba.

El mantenimiento de este sistema de drenaje implicaba altas inversiones por parte de los hacendados. Éste fue un argumento que los hacendados esgrimieron durante la revolución mexicana con el fin de defender las tierras del reparto (consideraban que la gente del pueblo no sería capaz de mantener su funcionamiento). De una forma u otra, una tecnología agrícola tan compleja necesitó siempre de una autoridad central para operarla adecuadamente (Wilken, 1969).

### *La Agricultura de Campos Drenados o Camellones en el estado de Tlaxcala.*

Los camellones o campos drenados de Tlaxcala (Wilken, 1969) son plataformas con agua freática elevada, drenaje deficiente (principal problema de las tierras agrícolas locales), ciénegas y pantanos característicos del piso del valle en el suroeste del estado. En muchos lugares el manto freático se encuentra a menos de 1 m debajo de la superficie; en otros sitios es de varios metros de profundidad. Aún se pueden encontrar ciénegas y pantanos, y algunas áreas cultivadas que hoy en día se muestran en mapas antiguos como pantanos.

En relación con el agua, se distinguen tres tipos de agricultura en el piso del Valle Atoyac-Zahuapan: la que se realiza en parcelas con facilidades de riego ("tierras de riego"), la que se lleva a cabo en tierras que se humedecen por la acción de la lluvia ("tierras de temporal") y aquella que se practica en tierras con suficiente humedad en el suelo debido al elevado manto freático ("tierras de humedad o de jugo") (Dirección General de Estadística, 1960).

La lluvia en el suroeste de Tlaxcala se concentra a finales de la primavera, en verano y principios de invierno en el mes de enero; más de 90% cae en el periodo de mayo

a octubre. La precipitación disminuye en la zona noroeste y se incrementa hacia el sur y oeste (INEGI, 1990).

En la época de lluvia, la precipitación excede a la evaporación. La deficiencia de humedad del suelo se presenta normalmente hasta noviembre o diciembre. Las variaciones anuales y estacionales de la precipitación son los principales factores climáticos con los que se tiene que enfrentar el campesino. La época de verano es particularmente crítica. A lo largo de muchos años, a la mitad del verano, se ha observado la llegada de aire seco del este hacia el sur, lo que ocasiona una época de sequía relativa, de duración e intensidad variables, denominada 'canícula'. Los campesinos asocian a esta sequía con algunas fechas específicas y días de santos (García, 1973).

Las áreas pantanosas se convierten en tierras arables por medio de una obra que consiste básicamente en la construcción de zanjas o canales de drenaje alrededor de las parcelas o camellones. La tierra que se saca al cavar las zanjas, se deposita sobre el camellón elevando la altura de éste. Las zanjas tienen una gran variación en tamaño y los drenes principales son de varios metros de ancho y profundidad.

Las condiciones de drenaje y su inclinación determinan el tamaño de la zanja alrededor de los camellones. Las hay de algunos centímetros de ancho, en forma de U, que sirven de canal de desagüe de la superficie del campo, hasta canales rectos laterales de 1 a 2 m de profundidad; estos últimos son los más comunes en la región. Estas zanjas se extienden a nuevas parcelas conectándose con otros drenes. Los materiales que se extraen de las zanjas se vuelven a apilar sobre las nuevas parcelas. El acceso de las personas se lleva a cabo por senderos angostos a lo largo del camellón.

Los camellones típicos son largos y angostos, de aproximadamente 10 metros de ancho por 50 o 100 m de largo, con el eje longitudinal perpendicular al río más cercano, barranca o cauce principal. En general, los camellones rectangulares conservan franjas de vegetación natural y cultivada o inducida por lo menos en dos de sus lados. Cada camellón está dividido en subparcelas que contienen un mínimo de dos cultivos y que anteriormente podían tener hasta 12 o más (Wilken, 1969).

En época de secas, cuando el campo es muy elevado, las plantas deben ser regaradas. Pero si el piso del camellón es muy bajo, el agua freática saturará la zona de las raíces pudriéndolas; en este último caso el campesino lleva polvo y arena de las barrancas y

cerros más cercanos, o lodo de las zanjas, para aumentar la altura de la parcela (Wilken, 1969).

### *Fertilización Orgánica*

De acuerdo con los datos obtenidos por otros autores (Wilken, 1969; González-Jácome, 1986; Anaya *et al.*, 1987), la aparente y continua fertilidad en el suroeste de Tlaxcala se debe en gran parte al rejuvenecimiento periódico de los campos por la aplicación de diversos materiales para mejorar la estructura y fertilidad del suelo de los camellones; por ejemplo, materiales diversos que se sacan del fondo de las zanjas o canales, lodo arcilloso derivado de las montañas, tepetate y camas de arcilla derivados de los mismos camellones, y material arenoso que es arrastrado a los canales desde los campos de temporal y barrancas cercanas. El material de las zanjas frecuentemente es pesado y difícil de trabajar; el que tiene un alto contenido de arcilla se convierte en duros bloques semejantes a ladrillos al secarse; éstos deben romperse con martillos o palas para reincorporarlos al suelo antes de que los campos sean arados. La arena de las barrancas mejora la textura de estos suelos pesados y hace que los suelos arcillosos sean más manejables. Algunos campesinos reconocen el valor de estos materiales al aplicarlos a su parcela, otros lo desconocen y limpian sus zanjas únicamente cuando el drenaje de los campos se ve obstruido.

El lodo colectado del fondo de la zanja se apila a lo largo de las orillas del campo y se distribuye inmediatamente sobre las parcelas o se deja a lo largo de un año antes de aplicarlo. Ambos métodos tienen ventajas: si se deja secar el lodo, su aplicación es menos fácil, pero su transportación se facilita, ya que fresco, se encuentra en estado semi líquido y es más pesado.

Wilken (1969) también menciona que otro de los materiales con que se fertiliza el suelo consiste en las plantas acuáticas que se sacan de los canales y también se apilan en la orilla de la parcela, dejándolas pudrir y secar; el producto es un buen abono para diferentes cultivos. Estos montones de desechos orgánicos tienen la desventaja de ocupar mucho espacio en las parcelas pequeñas y además pueden ser arrastradas a las zanjas durante las lluvias fuertes.

En ocasiones, el abono animal proveniente de los animales domésticos se junta en pilas durante todo el año y se lleva a los campos en costales sobre burros, cuando la cantidad es pequeña, y en camionetas o camiones cuando la cantidad es grande, el lugar al cual se debe transportar es lejano y el dueño del predio puede pagar el servicio (Wilken, 1969).

### *Plantación de Árboles*

El paso final en la construcción del camellón es la plantación de árboles alrededor del mismo. Las especies más comunes son *Alnus acuminata* Kunth (aile o ailites), *Salix bonplandiana* Kunth (ahuejotes o huejotes) y diversos árboles frutales; como *Crataegus mexicana* DC (tejocote), *Prunus capuli* Cav. (capulín), *Prunus persica* L. (durazno), *Pyrus* spp. (pera) y *Malus* spp. (manzana), entre otros (González-Jácome, 1999). También se permite el crecimiento natural bajo los árboles de algunos arbustos y plantas arvenses, lo que refuerza las orillas de las parcelas y, aparentemente, mejora el drenaje de los campos.

### *Mantenimiento de los Camellones*

Un sistema agroforestal de tal complejidad, donde el agua es manejada con técnicas muy antiguas y sofisticadas, requiere de un mantenimiento continuo. Las zanjas se azolvan con el suelo arrastrado de los campos por la lluvia y el viento, con arena y productos de la erosión de tierras más altas que transportan los ríos; además, el crecimiento de las plantas acuáticas como el tule (*Typha* sp.) y el lirio acuático (*Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms) reducen el flujo de la corriente y la eficiencia del drenaje. La frecuencia con la que se limpian los canales varía dependiendo del cuidado que el campesino le proporcione a su camellón; algunos de ellos los limpian dos o tres veces al año, mientras que otros cada dos o tres años. El sistema de drenes naturales y artificiales tiene como función bajar el agua freática; un mal mantenimiento de las zanjas impide el drenaje en los campos vecinos, por lo que la cooperación entre los campesinos es indispensable para una operación efectiva del sistema.

González-Jácome (1986) menciona que en el suroeste de Tlaxcala, la finalidad de los camellones es no sólo drenar el agua, sino mantenerla dentro de ciertos niveles mínimos y máximos. La red de zanjas, canales y ríos, puede ser manejado por los campesinos a través de muros de tierra o bien por compuertas para retener el agua por lapsos mayores de tiempo.

Las zanjas se limpian con la misma pala aplanada usada para la construcción de nuevas parcelas. Los lados son excavados verticalmente para coleccionar el lodo y la tierra. Asimismo, se limpia la orilla de la parcela de plantas indeseables y se recoge material leñoso que, una vez seco, se utiliza como combustible para cocinar; las hojas y ramas más pequeñas se usan como alimento para los animales. La limpieza de los drenes principales es generalmente la tarea de uno o más ejidos o pueblos, organizados por los Comisariados Ejidales y los pequeños propietarios.

Las zanjas obstruidas permiten que el nivel del agua freática aumente, convirtiendo a las parcelas en ciénegas o pantanos, inadecuados para el cultivo. Algunos pastos como *Cynodon dactylon* (L.) Pers. (pastro Bermuda), *Eleocharis* spp. y otras plantas tolerantes al agua invaden las parcelas descuidadas. Los campesinos locales describen parcelas pantanosas con pasturas, cerca de Tecuexcomac, como campos que anteriormente fueron productivos. Algunos campesinos consideran que las concentraciones de sal en los campos cerca de Tecuexcomac y Michac son el resultado de un mantenimiento deficiente; el problema puede ser remediado con una inundación apropiada y un buen drenaje.

En 1942 el gobierno estatal construyó un gran canal a lo largo de los pantanos y ciénegas de Tecuexcomac y Santa Justina Ecatepec, bajando los niveles del agua en un área amplia y convirtiendo los campos inundados en productivos (González-Jácome, 1986).

### *Prácticas Agrícolas y Principales Cultivos*

Wilken (1969) describe con precisión los camellones del suroeste del estado de Tlaxcala y menciona que con excepción de algunas prácticas ya mencionadas, las actividades en el campo son muy semejantes a las que se llevan a cabo en la parte central del país. Mulas y bueyes jalan un arado de acero y una tabla de madera de rastra, los cuales se usan para preparar el suelo durante el invierno o principios de primavera. La siembra se

hace a mano, con una pala corta o una pala larga y recta. Se abren agujeros en forma de V y se colocan en ellos de tres a cinco semillas de maíz y de dos a tres semillas de frijol enredador, o bien, se siembran frijoles de mata entre las plantas de maíz. La distancia de siembra puede ser de un paso corto (40-50 cm) o de un paso largo (0.90 a 1 m).

El abono animal o el fertilizante químico se aplican en el período de siembra y primera labor, que se realiza cuando las plantas de maíz tienen de 20 a 30 cm de altura, y consiste en pasar de nuevo el arado para cambiar la estructura del surco (el fondo del surco se convierte en cresta con el fin de acumular tierra alrededor de los tallos del maíz, y de este modo, reforzarlos) y deshierbar. El campesino prefiere aplicar abono orgánico (rastrojo, lodo, estiércol, abono verde, desechos de la cocina) porque es más barato, mejora la estructura del suelo y lo enriquece con nutrimentos. Las cenizas del fogón de la cocina también se recogen para después espolvorearlas sobre las plántulas de maíz, cebolla y tomate como un tratamiento de prevención de hongos.

Una amplia variedad de cultivos se han sembrado en estos ricos suelos del valle. *Zea mays* L. (maíz), el cultivo de subsistencia básico, interplantado con frijoles, como *Phaseolus vulgaris* L. (frijol común), *Phaseolus coccineus* L. (frijol ayocote) y diversas variedades de calabazas distribuidas a lo largo de la parcela formando la clásica combinación, maíz-frijol-calabaza. También se combinan plantas de *Capsicum sp.* (chile), *Cicer arietinum* L. (garbanzo) y *Pisum sativum* L. (chícharo). *Vicia faba* L. (haba) es sembrada antes del cultivo del frijol o entre los surcos de maíz.

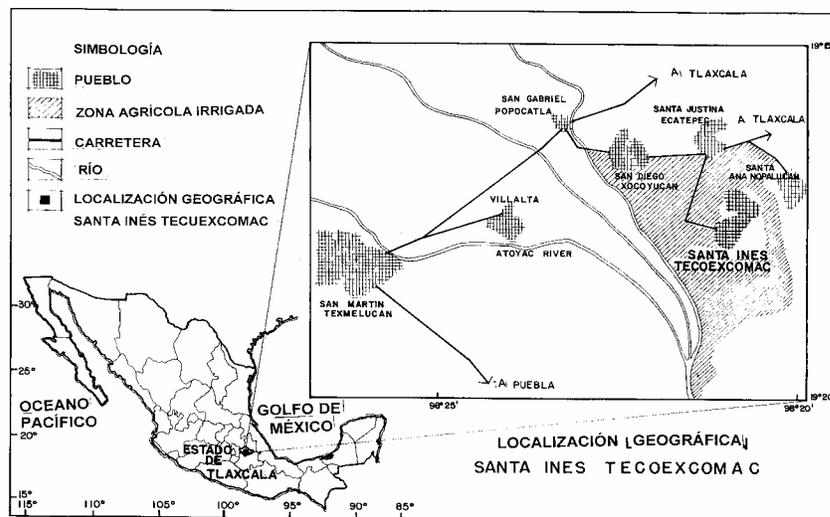
También se han cultivado hortalizas como cebolla, chile, lechuga, ajo, tomate, zanahoria, lenteja y rábano, ya sea para consumo propio o para la venta en los mercados locales. En ocasiones, algunas hortalizas se siembran en almácigos que se construyen en parcelas rectangulares, de aproximadamente 5 x 10 m, cerca de los canales. Los almácigos se siembran a mano y se riegan con el agua del canal. Las plántulas que se producen en ellos tienen cada una un pequeño cubo de tierra, igual que los “chapines” de las chinampas del Valle de México. Las plántulas transplantadas con su “chapín” pueden mostrar señales de marchitamiento o desecación por algunos días, pero pronto se recuperan. Sin embargo, la mayoría de los campesinos siembran directamente en los campos pues esto implica menos trabajo, pero de acuerdo con la experiencia de muchos de ellos, los almácigos permiten un aumento en la producción, pues aseguran la supervivencia de las plántulas.

Alrededor de las áreas de Ixtacuixtla, Nativitas y Tetlatlahuac, muchos camellones son sembrados con alfalfa, uno de los principales forrajes del ganado lechero de la zona; la leche es una fuente importante de alimento e ingresos para los habitantes del lugar (INEGI, 1990).

## DESCRIPCIÓN DE LOS CAMELONES DE SANTA INÉS TECUEXCOMAC, TLAXCALA

### SITIO DE ESTUDIO

El presente trabajo se llevó a cabo en los camellones de Santa Inés Tecuexcomac perteneciente al municipio de Ixtacuixtla de Mariano Matamoros en el suroeste del estado de Tlaxcala a  $19^{\circ} 22'$  de latitud norte y  $98^{\circ} 30'$  de longitud oeste y a una altitud de 2240 m. De acuerdo con el VII Censo Agrícola y Ganadero del Estado de Tlaxcala, este municipio cuenta con una área de 12,732.395 ha, de las cuales 9176.465 corresponden a superficie de labor, 1694.46 ha con pastos naturales o agostadero, 1,500 ha con bosques o selvas y 102.47 sin vegetación. Colinda con otros municipios: al norte con Panotla, al poniente con Españita y Hueyotlipa, al sur con Nativitas y al oriente con el estado de Puebla. Ixtacuixtla se divide en 21 localidades, de las cuales 18 son pueblos, uno es un rancho y dos son rancherías (INEGI, 1990 a) (Figura 1).



**Figura 1.** Mapa de localización de Santa Inés Tecuexcomac, Tlaxcala.

## Clima

El clima de esta zona es templado subhúmedo, con régimen de lluvias en verano; el porcentaje de lluvia invernal es menor a 5%, los vientos predominantes son los alisios de dirección NE a SO. Las temperaturas medias oscilan de 12.8 a 18.5°C. Las precipitaciones pluviales más abundantes se presentan en los meses de julio a septiembre y la precipitación anual en promedio es de 754 mm. Las heladas se presentan en los meses de octubre a marzo (Cuadro 1).

**Cuadro 1.** Características climáticas del Municipio de Ixtacuixtla, Tlaxcala. Los datos muestran el promedio de 10 años (1980-1990).

Meses	Temperatura Media (°C)	Precipitación Media Anual (mm)	Evaporación (mm)	Número de Heladas
Enero	14.9	6.4	72.9	17
Febrero	13.01	12.1	87.2	13
Marzo	14.9	8.4	120.1	8
Abril	17.5	39.5	141.1	2
Mayo	18.5	61.8	122.5	0
Junio	18.4	141.5	105.1	0
Agosto	17.4	139.5	105.1	0
Septiembre	16.5	121.0	81.5	0
Octubre	16.2	43.0	73.9	3
Noviembre	13.8	5.2	85.1	9
Diciembre	12.8	0.75	72.3	23

Fuente: S.A.R.H. Dirección Nacional, Servicio Meteorológico Nacional.

## Geología y Geomorfología

En general, las rocas del estado de Tlaxcala son de la era Cenozoica, del periodo Terciario; predominan los afloramientos de rocas volcánicas como andesitas, reolitas y basaltos y en menor proporción existen afloramientos de rocas basáltica, depósitos aluviales, tales como arenas, gravas y sedimentos lacustres, y depósitos fluviales y fluvio-glaciares (brechas sedimentarias). Las unidades estratigráficas más antiguas son las rocas sedimentarias formadas particularmente por depósitos clásticos en un ambiente lacustre, que, de acuerdo con su litología, son clasificadas como asociaciones alternantes en areniscas limolitas y areniscas calizas (INEGI, 1990 a).

En el valle de Tlaxcala-Puebla hay una gran unidad de llano con lomeríos, en la que los suelos dominantes son los fluvisoles eútricos de origen aluvial, profundos o limitados por una fase gravosa y pedregosa de textura arenosa. En la porción noroeste de la unidad se presentan suelos hidromórficos de origen lacustre. En los lomeríos de colinas redondeadas dominan los suelos de textura media o gruesa, limitados por tepetates, y por último, en los valles de laderas tendidas, los suelos son profundos y arcillosos.

El área se encuentra ubicada en la provincia fisiográfica del Eje Neovolcánico, cuya geoforma corresponde a la de valle abierto, y que actúa como una cuenca receptora del material erosionado de las partes topográficamente altas. El valle presenta una ligera pendiente de 2% en dirección sureste.

### *Hidrografía*

El río principal que irriga el corredor Puebla-Tlaxcala es el río Atoyac, considerado como la corriente formadora más importante del río Balsas; en su recorrido recibe varias aportaciones, siendo el río Zahuapan una de las más importantes en la zona. En el Municipio de Ixtacuixtla corren dos afluentes de este río, el río Atotonilco con caudal permanente y el arroyo Ajejela con caudal solamente en época de lluvias. Las aguas de los ríos Atoyac-Zahuapan se forman a partir de los deshielos del flanco oriental del volcán Iztaccíhuatl y retroalimentan el manto acuífero en la entidad; en 1981 cubrían una extensión de 70.36 km<sup>2</sup>, con menos de 3 m de profundidad (INEGI, 1984). Los canales de riego de Santa Inés conservan una comunicación entre sí, conectándose con un canal colector (canal de San Ignacio), de 4 km de longitud, que atraviesa dos poblados más (Rebolledo-Recendiz, 1999).

### *Vegetación*

Las principales asociaciones vegetales presentes en el estado de Tlaxcala son: 1) oyamel-pino, presente en altitudes promedio de 3,000 m, en suelos profundos y húmedos, 2) enebro con magueyes y nopales, compuesta principalmente por *Juniperus deppeana*

junto con *Agave atrovirens*, *Opuntia* spp y *Nolina longifolia*; esta asociación, que forma masas densas de extensiones considerables, se localiza en la mayoría de las planicies del estado en suelos con poca humedad y erosión bien marcada, 3) bosque de enebro y capulín, que se encuentra en zonas relativamente poco elevadas con topografía plana; está formada por *Juniperus deppeana* var. *robusta* y *Prunus capuli*, junto con diversas especies de *Quercus*, *Arbutus glandulosa* y *Opuntia* spp, 4) pastizales, que son principalmente inducidos por el hombre y se utilizan para ganadería; están formados principalmente por *Bouteloua gracilis*, *Muhlenbergia porteri* e *Hilaria* sp., que se establecen bajo condiciones de gran perturbación y un fuerte pastoreo (INEGI, 1990 a).

## **MATERIALES Y MÉTODOS**

Durante el desarrollo de la presente investigación se realizaron encuestas estructuradas a 30 campesinos del poblado de Santa Inés Tecuexcomac. Las preguntas que se utilizaron para conducir la entrevista fueron: datos personales del campesino, número, tipo y ubicación de sus parcelas, técnicas agrícolas con respecto al tipo de cultivo, variedades, preparación del terreno, siembra, deshierbes, fertilización, cosecha, control de plagas y enfermedades y problemas en la producción. La información se complementó con observaciones directas a lo largo de cuatro años de trabajo de campo de 1992-1996, que permitieron cotejar y precisar los datos en diferentes épocas del año. La investigación relacionada con el manejo tradicional de leguminosas se realizó especialmente con respecto a los siguientes cultivos: alfalfa, frijol común, haba y veza.

## **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

### *Características de las Áreas Agrícolas de Santa Inés Tecuexcomac*

Santa Inés Tecuexcomac posee tres zonas agrícolas, de acuerdo con la información proporcionada por los habitantes entrevistados; estas áreas difieren entre sí con respecto a las variedades de alfalfa sembradas, a sus características topográficas y al agua de riego disponible en ellas. Estas tres zonas son:

El Bajío, que es un valle caracterizado por la presencia de los camellones, cuya estructura corresponde a las típicas parcelas rectangulares bordeados en dos o tres de sus lados por árboles de ailes, capulines y ciruelos, entre otros, y delimitados por canales de agua no revestidos que son alimentados por el río Atoyac. Éstos contienen agua permanentemente y diversas plantas y animales acuáticos (Fig. 2).

La Loma, que es una zona alta que se encuentra alrededor de 200 m por arriba de la zona de El Bajío, caracterizada por tener áreas de tepetate. En 1987, se usó maquinaria pesada para romper el tepetate y poder utilizar los terrenos para la agricultura. El agua para riego en esta zona se extrae con bombas de diversos pozos y se distribuye por medio de canales revestidos de cemento.

La Laguna es un sitio cercano al canal de San Ignacio, en donde el agua de los canales de riego fue encauzada hacia él; en esta zona el manto freático es muy elevado y también existen camellones delimitados por canales pero con menor número de árboles en sus orillas.



**Figura 2.** Vista general de un camellón en Santa Inés Tecuexcomac, Tlaxcala.

#### *Vegetación Silvestre Asociada a los Camellones*

Las especies de árboles más numerosas en los bordes de los camellones son silvestres (8) y éstas están combinadas con especies introducidas de frutales arbóreas (10) (Cuadro 2).

Todos estos árboles tienen valor económico, pues surten de leña y fruta a sus dueños. Además, desempeñan un papel ecológico de gran importancia al ayudar al enriquecimiento

del suelo con la materia orgánica (hojarasca) que aportan, al actuar como barreras contra el viento, algunos al funcionar como fijadores de nitrógeno (*Alnus*). Los árboles también pueden actuar en la protección contra la erosión, en el control de la acción mecánica del agua de lluvia, retienen humedad, proporcionan sombra, son refugio de aves, mamíferos y otros animales, y finalmente, funcionan como barreras y trampas de diversos insectos plaga (Altieri y Trujillo, 1987).

**Cuadro 2.** Especies de árboles frutales y silvestres presentes en los bordes de un típico camellón de Santa Inés Tecuexcomac, Tlaxcala.

ÁRBOLES FRUTALES	ÁRBOLES NO FRUTALES
<i>Persea americana</i> Mill. (La) "aguacate"	<i>Alnus firmifolia</i> Ferm. (Be) "aile"
<i>Prunus capuli</i> Cav. (Ro) "capulín"	<i>Buddleia parviflora</i> H.B.K. (Lo) "tepozán"
<i>Crataegus mexicana</i> DC. (Ro) "tejocote"	<i>Fraxinus</i> sp. (O) "fresno"
<i>Prunus domestica</i> L. (Ro) "ciruela"	<i>Ligustrum japonicum</i> Maxim. (O) "trueno"
<i>Citrus aurantium</i> L. (Ru) "naranja"	<i>Taxodium mucronatum</i> Tenn. (Ta) "ahuehuete"
<i>Citrus aurantifolia</i> (Christ) Swingle (Ru) "limón"	<i>Schinus molle</i> L. (An) "pirúl"
<i>Pirus</i> sp. (Ro) "pera"	
<i>Malus pumila</i> Mill (Ro) "manzana"	

(Familias: An, Anacardiaceae; Be, Betulaceae, La, Laureaceae; Lo, Loganiaceae; O, Oleaceae; Ro, Rosaceae; Ru, Rutaceae; Sa, Salicaceae; Ta, Taxodiaceae)

En particular el aile, cuyas hojas resultan muy atractivas para el escarabajo *Macrodactylus* sp. ("frailecillo"), que se alimenta del aile y el maíz puede crecer mejor al reducirse el problema de esta importante plaga. Bajo la sombra de estos árboles, crece abundantemente un arbusto, *Baccharis glutinosa* Pers. (jarilla), el cual tiene también importancia económica y ecológica. De acuerdo con la información proporcionada por los campesinos, se corta en invierno, cuando está seco, y se aprovecha como leña, y durante el verano funciona también como trampa de insectos, algunos de ellos dañinos para los cultivos, particularmente áfidos (Fig. 3).



**Figura 3.** Uso de árboles como leña.

Debido a la presencia de árboles en las orillas de los camellones, se tiene un aporte natural de hojarasca de los mismos al suelo, especialmente durante la época de otoño, para el caso de las especies caducifolias. Resulta interesante mencionar que las raíces de los árboles de *Alnus*, que forman una simbiosis con el actinomiceto *Frankia*, fijan nitrógeno al suelo y aportan abundante materia orgánica que también favorece las condiciones de éste. Las hojas de aile y algunas plantas acuáticas que pueden ser utilizados como abonos verdes tienen también este efecto herbicida natural ya que logran disminuir el número de malezas en las parcelas donde se aplican (Anaya *et al.*, 1987).

En los camellones también crece un gran número de hierbas silvestres o arvenses y arbustos, tanto en los bordes como dentro de las parcelas. Algunas de estas plantas arvenses se usan como forraje para los animales y como alimento humano (*Amaranthus hybridus* L.

y *Chenopodium album* L. ‘quelites’); otras son utilizadas como plantas medicinales (*Malva parviflora* L), y muchas de ellas, se incorporan al suelo como abono verde durante las labores de deshierbe. Durante la recolecta e identificación de las plantas arvenses se encontraron 32 especies pertenecientes a 21 familias (Cuadro 3). En otros sitios del estado de Tlaxcala también se ha reportado que los campesinos dejan crecer intencionalmente poblaciones de *Brassica campestris* L, porque actúa como planta trampa sobre la plaga del frailecillo (*Macroductylus* sp.) ya que se dirige hacia las flores de esta arvense y no hacia las del maíz (Altieri y Trujillo, 1987).

**Cuadro 3.** Familias y especies de arvenses más comunes en los camellones de Santa Inés Tecuexcomac.

Familias	Especies
Amaranthaceae	<i>Amaranthus hybridus</i> L.
Asteraceae	<i>Bidens aurea</i> (Aiton) Sherff., <i>Melampodium perfoliatum</i> (Cav.) Kunth, <i>Simsia amplexicaulis</i> (Cav.) Pers., y siete especies más
Budleiaceae	<i>Budleia</i> sp.
Chenopodaceae	<i>Chenopodium album</i> L., <i>Ch. murale</i> L.
Commelinaceae	<i>Tradescantia crassifolia</i> Cav., <i>Commelina erecta</i> L. <i>Dalea</i> sp.
Convolvulaceae	<i>Ipomea</i> sp.
Cucurbitaceae	<i>Sicyos deppei</i> G. Don.
Cruciferae	<i>Brassica campestris</i> L, <i>Raphanus raphanistrum</i> L., <i>Lepidium</i> sp.
Cyperaceae	<i>Cyperus esculentus</i> L.
Fabaceae	<i>Melilotus indicus</i> (L) All., <i>Medicago denticulata</i> Willd.
Lamiaceae	<i>Salvia tiliifolia</i> Vahl, <i>Marrubium</i> sp.
Malvaceae	<i>Malva parviflora</i> L.
Onagraceae	<i>Lopezia racemosa</i> Cav.
Oxalidaceae	<i>Oxalis</i> sp.
Papaveraceae	<i>Argemone mexicana</i> L.
Plantaginaceae	<i>Plantago major</i> L.
Poaceae	<i>Bromus anomalus</i> Rupr. ex E. Fourn, <i>Eragrostis intermedia</i> Hitchc., <i>E. mexicana</i> (Lag.) Link., <i>Cynodon dactylon</i> (L.) Pers., <i>Echinochloa crus-galli</i> (L.) P. Beauv. <i>Lolium multiflorum</i> Lam., <i>Setaria geniculata</i> Beauv., <i>Sporobolus poireti</i> (Roem. et Schult) Hitchc., <i>S. indicus</i> (L) Brown., <i>Polypogon</i>

Polygonaceae	<i>elongates</i> Kunth. <i>Polygonum aviculare</i> L
Portulacaceae	<i>Portulaca oleracea</i> L.
Scrophularaceae	<i>Castilleja arvensis</i> Cham. Et Shl., <i>Veronica peregrina</i> (Kunth) Penn.
Verbenaceae	<i>Verbena bipinnatifida</i> Nutt., <i>V. carolina</i> L.

---

Se colectó e identificó también la vegetación acuática de las zanjas y se encontró que las especies más abundantes fueron *Berula erecta* (Huds.) Coville (sin. *Berula angustifolia* (L.) Mert. & W. D. J. Koch) (Apiaceae), *Lemna minor* L. (“lentejilla”) (Lemnaceae) y varias especies de *Juncus*, *Hydrocotyle* y *Typha* (Fig. 4).



**Figura 4.** Vista de uno de los canales que rodean a un camellón de Santa Inés Tecuexcomac, Tlaxcala.

#### *Fertilización Orgánica*

Los principales materiales orgánicos utilizados como fertilizantes en los camellones de Santa Inés Tecuexcomac son de origen diverso. Los hay de origen animal: estiércol de bovinos, cerdos, burros y aves de corral, que se aplican 1 ó 2 veces al año, durante la preparación del terreno, cuando el campesino, por medio de canalillos realiza un riego extensivo en el camellón, incorporando a la vez el estiércol y los rastrojos de diversos cultivos (maíz, ebo o veza, alfalfa). Cuando se cultiva alfalfa, los campesinos más cuidadosos de sus campos agregan nuevamente estiércol de animales, pero en forma de polvo y por “puños” a lo largo de las melgas (subparcelas), a los dos años de sembrada la

alfalfa. Las plantas arvenses de los camellones se incorporan al suelo dos veces al año, durante el primer deshierbe, denominado "labra", cuando el maíz tiene un mes de haber emergido; durante esta labor, se cambia la estructura del surco con la yunta, la cresta del surco se convierte en fondo y viceversa. Durante el segundo deshierbe, llamado "escarda", cuando el maíz tiene 1 m de altura, las plantas arvenses se cortan por medio del azadón. La aplicación del lodo del fondo de la zanja (agua-lodo) se realiza cada 3 ó 5 años; esta labor la realizan particularmente los campesinos más tradicionales y es menos frecuente (Cuadro 4). En el Cuadro 4 se presenta información sobre la frecuencia de aplicación de cada tipo de abono.

**Cuadro 4.** Principales abonos orgánicos utilizados en los camellones de Santa Inés Tecuexcomac.

ABONO ANIMAL	ABONO VEGETAL	AGUA LODO
Bovinos (2)	Rastrojo de maíz, frijol, haba, calabaza (1)	Materia orgánica acumulada en los canales (4)
Aves de corral (1)	Rastrojo de carrizo (1)	
Cerdos (2)	Raíz de ebo, avena y otros forrajes (1)	
Burros (2)	Arvenses de los deshierbes (2) Hojarasca (3)	

1 Se aplican una vez al año, 2 se aplican dos veces al año, 3 aporte natural, 4 se aplica cada 3 a 5 años

La reutilización de materiales de desecho orgánico, como el que se realiza en estos camellones, es una constante en el manejo agrícola de los agroecosistemas tradicionales (Altieri, 1987). Se pueden citar diversos ejemplos en diferentes estados de la República Mexicana. Tal es el caso de las plantaciones de café a la sombra en Coatepec, Veracruz, donde varias especies de Commelinaceae cubren el suelo de este tipo de cafetales sombreados. Los cafeticultores le dan un manejo especial a estas comelináceas: permiten su crecimiento, ya que controlan el crecimiento de otras malezas a través de su potencial alelopático, y las cortan cada año, dejándolas sobre el suelo como abono verde. El potencial

alelopático de las comelináceas se expresa cuando están vivas, liberando al medio diversos metabolitos secundarios, y cuando están muertas y en descomposición, liberando también aleloquímicos al ambiente (Ramos *et al.*, 1983). En el estado de Morelos los campesinos favorecen el crecimiento de otra arvense, *Ipomoea tricolor* (Cav.), Convolvulaceae, la cual cubre totalmente los terrenos en descanso, protegiendo al suelo contra la erosión y eliminando otras malezas por medio de una competencia agresiva y la producción de aleloquímicos fitotóxicos. Antes de la siembra de la caña de azúcar (*Saccharum officinarum* L.), las plantas de *Ipomoea* se cortan, se dejan secar y se incorporan al suelo como abono verde. El potencial alelopático que posee *I. tricolor*, está determinado por la presencia en la planta de compuestos altamente fitotóxicos, las resinas glicosídicas; la más abundante de ellas es la Tricolorina A (Anaya *et al.*, 1990; Pereda-Miranda *et al.*, 1993). Algunas leguminosas tropicales presentes en México, el Caribe y Asia son otro ejemplo de arvenses que también se usan con propósitos similares; algunas de las más comunes son los frijoles terciopelo (*Mucuna deeringiana* y *M. pruriens*), los cuales crecen abundante y rápidamente, cubren el suelo, lo protegen y también eliminan otras arvenses; algunos de los estados donde la siembra de estas plantas es ya una práctica común, son Tabasco, Chiapas, Veracruz, Oaxaca, Campeche y Yucatán. La combinación de estos frijoles con el maíz y la adición de hojarasca de otras leguminosas arbóreas al suelo, bajo un manejo apropiado, beneficia a los campesinos al enriquecer el suelo con nitrógeno y abundante materia orgánica, y al controlar el crecimiento de muchas malezas. La utilización de estas leguminosas incrementa la producción del grano y llegan a obtener 3 ton/ha (Arévalo y Jiménez-Osornio, 1988). Todos estos ejemplos se refieren a plantas, cuyo potencial alelopático las convierte en verdaderos “herbicidas verdes” que tienen la ventaja de no causar el impacto desfavorable de los herbicidas comerciales.

### *Patrones de Cultivo*

Los patrones de cultivo más comunes en Santa Inés Tecuexcomac son los siguientes: 1) en la época de lluvias o temporal, la combinación maíz-frijol-calabaza (MFC); maíz-calabaza, maíz-haba, maíz -alfalfa y monocultivos de maíz, frijol, amaranto y alfalfa, y 2) en la época de invierno, en donde se siembra la combinación ebo-avena y los monocultivos de haba y alfalfa (Cuadro 5).

Las rotaciones de cultivos más comunes en los ciclos de primavera-verano y otoño-invierno son: 1) maíz, frijol, calabaza (MFC) rotado con ebo y avena; 2) MFC rotado con haba; 3) MFC rotado con alfalfa; 4) amaranto rotado con haba; y 5) amaranto rotado con ebo y avena.

En este estudio se encontró que las formas de policultivo en asociación, intercalado y en franjas son las más usadas en los camellones de SIT. La siembra de leguminosa es considerada por los campesinos como mejoradoras del suelo. Desde el punto de vista científico es bien conocido el efecto positivo de la fijación de nitrógeno atmosférico de las leguminosas a través de su asociación con bacterias del género *Rhizobium* y a su vez la aportación de N al suelo de estas leguminosas sobre los cereales como siguiente cultivo en la rotación (Legard, 1991).

De acuerdo con el estudio realizado por Altieri y Trujillo (1987) con respecto a las causas por las cuales el campesino usa policultivos, ellos mencionan que estos patrones de cultivo responden a diversos factores: a fuentes disponibles, a la capacidad productiva de los suelos, a las costumbres y tradiciones, así como a la disponibilidad de efectivo y de la labor familiar, y de la percepción de riesgos originados de circunstancias naturales y económicas. La lluvia impredecible es uno de los principales factores naturales que inducen a los campesinos a tomar la decisión de sembrar diversos cultivos adaptados a diferentes necesidades de agua y de esta manera reducir los riesgos de pérdida de la cosecha final.

### *Descripción de los Ciclos Agrícolas y sus Cultivos*

Los cultivos más frecuentes en el ciclo primavera-verano y otoño-invierno, en los camellones de Santa Inés, se enlistan en el Cuadro 5.

**Cuadro 5.** Cultivos más frecuentes en los dos ciclos agrícolas.

<b>Primavera-verano (Temporal)</b>	<b>Otoño-invierno (Riego)</b>
<i>Zea mays</i> L. maíz "pinto",	<i>Avena sativa</i> L. avena
<i>Phaseolus vulgaris</i> L. frijol "enredador"	<i>Medicago sativa</i> L. alfalfa
<i>Cucurbita pepo</i> L. calabaza "italiana"	<i>Vicia faba</i> L. haba
<i>Chenopodium album</i> L. quelite	<i>Vicia sativa</i> L. ebo o veza
<i>Arundo donax</i> L. carrizo	
<i>Physalis</i> sp. L. tomate verde	
<i>Medicago sativa</i> L. alfalfa	

Como se puede observar, las leguminosas, uno de los grupos de plantas cultivadas de gran importancia en la agricultura por su alto contenido en proteínas y aporte de nitrógeno al suelo, se cultivan comúnmente en estos sistemas agrícolas.

La producción en los camellones de Santa Inés Tecuexcomac, al tener la presencia constante de agua en sus canales o zanjas durante todo el año, permite la realización de dos ciclos agrícolas: verano e invierno. En el Cuadro 6 se presentan los cultivos y las labores de campo que se llevan a cabo durante los dos ciclos agrícolas.

**Cuadro 6.** Cultivos y labores de campo en los dos ciclos agrícolas.

<b>OTOÑO- INVIERNO</b>	
<b>FECHA</b>	<b>ACTIVIDADES</b>
30-Oct a 20-Nov-90	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Arado de la tierra</li> <li>• Riego a mano</li> <li>• Siembra de ebo y avena</li> </ul>
10-Ene a 20-Feb-90	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Corte de ebo y avena</li> <li>• Riego a mano</li> <li>• Formación de montones de estiércol mezclado con rastrojo de maíz</li> </ul>

- Corte de ebo y avena
- Preparación del terreno para el cultivo de temporal (verano)
- Riego por medio de canalillos

**PRIMAVERA-VERANO**

- 21-Mar-90
  - Aplicación de estiércol mezclado con rastrojo de maíz
- 8-Abr-90
  - Arado con el tractor, para incorporarlo al suelo
  - Arado con yunta para formar los surcos
  - Siembra de maíz y frijol en el mismo agujero, cada 60-70 cm. en el valle del surco
  - Siembra de haba, quelite y tomate alrededor de la melga de alfalfa
- 11-Abr-90
  - Aplanado de los surcos con una viga para evitar la erosión
- 24-Abr-90
  - Siembra de calabaza al "pie" del maíz
- 8-May-90
  - Primer deshierbe usando el arado; se cambia la disposición de los surcos: el maíz queda ahora en el lomo del surco. El deshierbe es selectivo
  - Cosecha de quelites comestibles
- 30-May a 31-Ago-90
  - Segundo deshierbe selectivo, usando el azadón; el maíz tiene ya 1 m de altura
  - Cosecha de calabazas, quelites y tomates
- Sep-90
  - Cosecha de frijol y haba
- 15-Oct-90
  - Atado de los maíces, doblando hacia abajo las mazorcas para que se sequen
- 5-Nov-90
  - Cosecha de las mazorcas y atado del rastrojo
  - Limpieza del terreno para iniciar el cultivo de invierno

10-Nov a 20-Ene-90

- Arado del terreno
  - Siembra de ebo y avena.
  - Riego de invierno
  - Corte completo de la alfalfa
  - Siembra de alfalfa nueva
  - Corte de "jarilla" (*Baccharis glutinosa* Pers.)  
seca
  - Primer corte de alfalfa, que continúa cada 20 días.
- 

## MANEJO AGRÍCOLA TRADICIONAL DE LEGUMINOSAS EN LOS

### CAMELLONES DE SANTA INÉS TECUEXCOMAC

Una de las cualidades sobresalientes de los camellones es el cultivo de diversas leguminosas a lo largo de todo el año, en diferentes sistemas de cultivo. Las más comúnmente cultivadas son *Phaseolus vulgaris* L. (frijol común), *Phaseolus coccineus* L. (frijol ayocote), *Medicago sativa* L. (alfalfa), *Vicia faba* L., (haba) y *Vicia sativa* L. (veza o ebo); todas ellas representan elementos de gran importancia para estos agroecosistemas tradicionales pues contribuyen, junto con las otras plantas, al enriquecimiento de la biodiversidad agrícola y mejores opciones de alimento humano y animal. El campesino puede cultivar estas leguminosas de manera individual, asociadas en el mismo espacio con otro cultivo, interplantadas (intercaladas dentro o entre surcos) o bien aplicando sistemas diversos de rotación, lo que da como resultado un manejo diverso de las mismas en el tiempo y el espacio, con el correspondiente enriquecimiento del suelo, debido al aporte de materia orgánica y de nitrógeno al mismo, a través de los rizobios simbióticos de sus raíces.

A continuación se presenta la información obtenida durante las visitas y encuestas realizadas durante tres años a 30 productores de Santa Inés Texuexcomac, con respecto al cultivo tradicional de las variedades de cada especie de leguminosa, las prácticas agrícolas más comunes, ya sea en el ciclo primavera-verano o en el ciclo otoño-invierno, las enfermedades y plagas que los atacan, y los usos que se les da.

## ALFALFA

*(Medicago sativa L.)*

**VARIEDADES.** En Santa Inés Tecuexcomac, los campesinos han probado una gran diversidad de variedades de alfalfa: atlixqueña, oaxaqueña, peruana, valenciana, sello rojo y africana, entre otras. La mejor producción la han obtenido con las variedades atlixqueña y peruana, que se adaptan bien a las condiciones del lugar; los campesinos comentan que especialmente la atlixqueña es muy resistente a la sequía y que la variedad peruana es muy productiva.

**PREPARACIÓN DEL SUELO DEL CAMELLÓN.** Antes de la siembra de la alfalfa y de los cultivos de temporal, el suelo del camellón se prepara a fines de marzo, por medio de una sofisticada práctica de arado, riego y fertilización. Se pasa el arado para romper los terrones de suelo, se transporta el estiércol de los animales del corral (principalmente de vaca) al camellón y se hacen montones de rastrojo de maíz y estiércol a lo largo y ancho de todo el camellón. Inmediatamente se hace un riego por inundación, utilizando zanjas y canalillos que los campesinos van abriendo con la pala, y después se incorpora el abono orgánico al suelo de manera que se inunde y fertilice homogéneamente todo el terreno (Figura 5).



**Figura 5.** Práctica de riego y fertilización de un camellón antes de la siembra.

**SIEMBRA.** La siembra de la alfalfa se puede realizar en cualquier época del año gracias al acceso continuo de agua de riego. Sin embargo, la mayoría de los campesinos prefiere sembrar poco antes de la época de lluvias, después de preparar el suelo para la siembra de cultivos de temporal, como el maíz, frijol, calabaza y otros, en el mes de marzo o abril. Para ello, los campesinos eligen una subparcela del camellón (la melga) que utiliza exclusivamente para sembrar la alfalfa, y que es cambiada de lugar dentro del camellón cada 4 ó 5 años, o cuando la producción de la alfalfa empieza a decrecer.

La semilla de alfalfa se compra en San Martín Texmelucan o en Chipilo, en el estado de Puebla. El campesino realiza la siembra de alfalfa al voleo y después, nivela la superficie de la melga con una viga que se arrastra con la yunta; esta práctica permite también que la semilla de alfalfa se cubra con suelo. La cantidad de semilla sembrada varía de acuerdo con el tamaño de la melga; cuando cultivan aproximadamente 1500 m<sup>2</sup> con alfalfa, siembran aproximadamente 20 kg de semilla. En la misma parcela también se puede sembrar haba, quelites y tomate alrededor de la melga de alfalfa.

**RIEGO Y FERTILIZACIÓN.** La melga de alfalfa se riega 2 a 3 veces antes de la siembra de temporal que se realiza en abril. Si la siembra de alfalfa se hace en invierno, se pasa el arado una vez, en octubre o noviembre, se riega ‘a mano’ a los 8 días, a los 20 días y al mes después de la siembra. Los riegos se continúan cada 15 ó 20 días según lo requiera el cultivo. El campesino decide la frecuencia de riegos en invierno, dependiendo de la apariencia del cultivo, aunque en ocasiones este riego no es oportuno y la planta presenta síntomas de marchitamiento por falta de agua.

La cantidad de fertilizante orgánico aplicado a la melga de alfalfa varía según el tamaño de ésta, los animales que posee el campesino ó bien de acuerdo a los recursos económicos con los que cuenta para su compra. La aplicación de abono de corral puede variar de una a 24 Ton. El campesino menciona que el efecto del abono dura de 2 a 3 años, tiempo durante el cual mantiene el cultivo de la alfalfa en la melga. Después de este periodo, el cultivo “disminuye su producción y empieza a pudrirse”. Cuando no tienen la cantidad de abono orgánico suficiente, aplican abono químico; el más utilizado es el superfosfato triple: 3Ca (H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>)<sub>2</sub>, el cual se aplica a razón de 2 bultos de 50 kg para una melga de 1000 m<sup>2</sup>. Algunos campesinos más dedicados y cuidadosos con sus cultivos

aplican abono de corral seco y en polvo, por "puños", durante las labores o después de dos años de cultivo para permitir que la alfalfa continúe su crecimiento hasta 4 ó 5 años.

**COSECHA.** La cantidad de alfalfa que se produce por unidad de área es muy variable. La alfalfa se corta con una hoz y los cortes se realizan diariamente. El primer corte se realiza de dos a cinco meses después de la siembra. El procedimiento consiste en cortar franjas de  $5 \times 3$  m ó  $5 \times 4$  m a lo ancho de la melga, de donde se obtienen aproximadamente 6 kg de forraje diariamente, para el ganado del corral. Después de cortada, la alfalfa se deja secar al aire y preferentemente a la sombra durante dos días. La alfalfa muy fresca o "caliente" por efecto del sol, puede llegar a ser muy dañina para el ganado por los compuestos tóxicos que contiene. Una vez cosechada la alfalfa, la sección de la melga cortada se deja recuperar de 20 a 40 días para nuevamente volver a realizar el corte, y así sucesivamente a través del año. Después de 3 ó 4 años, el rendimiento de la alfalfa disminuye, y entonces el campesino decide 'voltearla', usando el tractor; después, la melga se cambia a otra área del camellón.

Los agricultores reconocen que la presencia de la alfalfa y otras leguminosas como el haba o la veza favorecen el crecimiento del siguiente cultivo que generalmente puede ser maíz y frijol. Ellos mencionan que los beneficios pueden ser porque se deja 'descansar la tierra' y porque la alfalfa o las otras leguminosas permiten que se conserve la humedad en el suelo; en realidad, las leguminosas actúan también como mejoradoras del mismo al aumentar su fertilidad con el aporte de materia orgánica y nitrógeno (Fig. 6).



**Figura 6.** Melga de alfalfa al fondo del camellón

**USOS.** La alfalfa es utilizada como forraje y alimento para los animales de corral. De acuerdo con los datos del VII Censo Agrícola y Ganadero del estado de Tlaxcala, en el Municipio de Ixtacuixtla se siembran 151,729 ha de este cultivo lo que supera de manera importante al cultivo de la avena forrajera con sólo 72.55 ha de siembra. La alimentación de dichos animals se complementa con rastrojo de maíz, arvenses y pastos en las áreas donde son abundantes (Fig. 7).



**Figura 7.** Corral típico de una casa en Santa Inés Tecuexcomac, Tlaxcala.

**ENFERMEDADES Y PLAGAS.** El deshierbe de la melga es importante, especialmente cuando hay presencia de plagas, como los pastos que “ahogan” o impiden el crecimiento de la alfalfa al competir por agua y luz. Otras plagas importantes que pueden dañar al cultivo son los pulgones; el más común es el pulgón manchado, *Therioaphis maculata* (Buckton). Los pulgones se controlan con la aplicación de insecticidas, los cuales generalmente son recomendados por las casas comerciales.

## FRIJOL COMÚN

### *(Phaseolus vulgaris L.)*

El frijol común es una leguminosa ampliamente cultivada en los agroecosistemas de México y América Latina. En los camellones de Tlaxcala se le puede encontrar sembrado como monocultivo, pero es más común encontrarlo asociado con el maíz y algunas plantas de calabaza. El frijol también puede cultivarse limitado a algunos surcos de la parcela, o bien rotándolo cada 2 ó 3 años después del cultivo del maíz (Fig. 8).



**Figura 8.** Plantas de frijol intercaladas con maíz

**VARIETADES.** Las variedades que comúnmente se siembran en Santa Inés son las de crecimiento determinado o de mata, como el pinto, el negro, el mantequilla, el flor de mayo y el ojo de liebre; y las de crecimiento indeterminado o trepador, como el aguante, el bayo rosa y el cambray.

**SIEMBRA.** El campesino guarda de la cosecha anterior, la semilla de frijol más grande y sana, que no muestre daños por insectos o patógenos, para sembrarla al año siguiente. Una vez que se prepara el suelo (en marzo) para el cultivo de maíz, a principios de abril se pasa el arado para formar los surcos (Figura 9).



**Figura 9.** Arado de un camellón utilizando la yunta de bueyes

Cuando el frijol es de tipo "enredador", se siembra junto con el maíz en el fondo del surco, dentro del agujero que se hace con una pala cada 60 a 70 cm (Fig. 10); en él se colocan de 2 a 3 semillas de frijol y de 3 a 5 de maíz. Cuando el frijol es de "mata", se alternan ambos cultivos en el mismo o diferente surco. Al referirse a la cantidad de semilla sembrada o a la cantidad de cosecha producida, el campesino generalmente utiliza las unidades de cantidad que se usaban en la época de la colonia; así, se dice que para cuatro surcos se siembra un "cuartillo" de frijol de mata que equivale aproximadamente a 2 kg. Esta variedad de mata se siembra a "paso corto", o sea cada 40 cm, poniendo tres semillas en cada agujero hecho con una pala. Cuando las plántulas de frijol alcanzan 10 cm de altura, el campesino siembra algunas semillas de calabaza de manera azarosa entre los surcos de maíz y frijol (Fig. 10).



**Figura 10.** Siembra de maíz y frijol en un camellón.

El primer deshierbe o "labra" se realiza con el arado, al mes de la siembra. Esta labor da como resultado un cambio en la posición de los surcos; las crestas se convierten en fondos y viceversa. Esta práctica permite que se "aterren" o "amontonen" con suelo las bases de las plantas. Muchas especies arvenses se incorporan al suelo durante esta labor, otras se colectan y se utilizan como alimento, especialmente la verdolaga y los quelites (*Portulaca oleraceae*, *Chenopodium album* y *Amaranthus hybridus*), otras se recogen y se utilizan como forraje.

**FERTILIZACIÓN.** La aplicación de abono orgánico, como se mencionó, se realiza antes de la siembra. Para fertilizar el frijol, comúnmente se utiliza el abono del corral que contiene los desechos de todos los animales que en él se crían. Al igual que la alfalfa la aplicación de abono es variable y se realiza cada año antes de la siembra. En ocasiones, el campesino aplica “por puños” sulfato de amonio en polvo. Esta fertilización química se realiza en el momento de la siembra.

**COSECHA.** La cosecha de frijol se lleva a cabo en el mes de octubre, ya sea cortando con hoz o bien arrancando la planta entera. Las vainas se dejan secar y se desprende la semilla con la ayuda de animales (comúnmente caballos) que pisan las vainas secas de la planta. La producción de la semilla varía dependiendo de la cantidad sembrada. Cuando se siembran 2 kg (1 cuartillo) se obtienen alrededor de 15 kg de semilla de frijol.

**ENFERMEDADES Y PLAGAS.** El frijol es considerado por el campesino como un cultivo sensible a las plagas, así como también a ciertas condiciones ambientales adversas como la sequía y las heladas. Las plagas más comunes identificadas por los campesinos son: el "chahuistle" o piojo blanco y la conchuela (*Epilachna varivestis* Mulsant). Usan Foley como agroquímico sugerido por casas comerciales.

**USOS.** En Santa Inés Tecuexcomac, como en todo México, la semilla de frijol es uno de los principales alimentos de la población, junto con el maíz, y la forma de preparación es sumamente variada.

## *HABA*

*(Vicia faba L.)*

**VARIEDADES.** Este cultivo se siembra ampliamente en esta localidad y generalmente se intercala con el maíz o se rota con él cada dos o tres años. La superficie cultivada es variable, puede ser sólo en algunos surcos o bien en toda la parcela. Las variedades de haba que se siembran son la criolla "chica" y la "grande" (según el tamaño de la semilla).

**SIEMBRA.** El agricultor escoge para sembrar la semilla de haba más grande y en mejor estado de la cosecha anterior, pero si la superficie que va a sembrar es muy grande (de 0.5 a 1 ha o más) entonces compra la semilla.

El suelo se prepara practicándole un riego y arándolo; la siembra se realiza con pala al igual que la del maíz y frijol. Cuando la planta alcanza una altura de 30 cm se realiza la “labra”, aterrando la planta con la yunta, y se hace el primer deshierbe.

El haba se puede sembrar en época de temporal o en época de invierno, ya que es un cultivo resistente al frío y existe disponibilidad de agua todo el año. La fecha de siembra en época de temporal es en el mes de abril y en época de invierno en el mes de octubre. Se siembran de 2 a 3 semillas por agujero, la distancia entre planta y planta puede ser "a paso corto" (40 cm) o a "paso largo" (90 cm). El campesino siembra de 10 a 12 kg de semilla por media hectárea.

**FERTILIZACIÓN.** El campesino comúnmente fertiliza el haba con abono de corral. La fertilización la puede hacer antes o durante la siembra. El fertilizante se distribuye a mano; en ocasiones también se utiliza fertilizante químico, como el sulfato de amonio; la cantidad de aplicación es variable, dependiendo del área de siembra. En una parcela de 0.75 ha se usan cinco costales de 50 kg cada uno. El fertilizante se puede aplicar en la labra, en la primera o en la segunda labor (deshierbes).

**COSECHA.** La cosecha de haba de temporal se realiza en el mes de noviembre con el fin de obtener haba seca, pero si se desea cosechar haba verde, se levanta la semilla en los meses de julio y agosto. Si la semilla se sembró en el ciclo otoño-invierno (octubre), entonces se cosecha en marzo o en abril. La cosecha se realiza con la hoz o se arranca la planta entera; se deja secar tres días y se pizca la semilla, o bien se recoge la vaina casi seca y se deja el rastrojo en la parcela (Fig.11).



**Figura 11.** Cosecha de haba en los camellones de Santa Inés Tecuexcomac.

**ENFERMEDADES Y PLAGAS.** Durante la época de secas, el campesino menciona que el haba es atacada por el "chahuistle", que en este caso se refiere al pulgón verde (*Aphis* sp.). Para el control de este insecto aún se aplica Malatión con aspersor. El pulgón negro (*Aphis fabae* Scopoli), se presenta cuando la planta está en floración y durante el desarrollo de la vaina. La producción de este cultivo también se ve afectada por las heladas y el granizo.

**USOS.** En esta región, las habas se utilizan como producto de autoconsumo o venta. Son preparadas de distintas formas, según si están frescas o secas, ya sea en guisos o molidas y mezcladas con masa de maíz en 'tortitas'.

#### VEZA COMÚN O EBO

(*Vicia sativa* L.)

La veza o ebo (*Vicia sativa* L.), como es conocida esta planta por los campesinos de Tlaxcala, es una leguminosa forrajera ampliamente cultivada en Santa Inés Tecuexcomac en la época de invierno. Los agricultores mencionan las siguientes cualidades de la planta: es resistente al frío, su cultivo en la época de secas permite que se mantenga la humedad del suelo, evita la erosión y aporta elementos nutritivos al mismo.

**SIEMBRA.** Generalmente, el campesino realiza la siembra de la veza en el mes de octubre, pero la puede llevar a cabo desde el mes de agosto, en septiembre o incluso en el mes de noviembre. La mayoría de los campesinos compran la semilla para sembrarla. En la preparación del terreno se distribuye el fertilizante orgánico o químico, se riega y se pasa la yunta. La siembra es al voleo. Se siembran aproximadamente de 3 a 6 kg de semilla por melga (5 × 200 m).

Es común en este sitio sembrar la veza combinada con la avena en una proporción de 1:1 aproximadamente. El área que se siembra es muy variable dependiendo de las necesidades del campesino; con base en el número y tipo de animales que cría, puede sembrar desde una melga de las dimensiones anteriormente citadas, dos melgas, un tercio de la parcela, media parcela o bien la parcela completa. El manejo más común de este cultivo es la siembra de

una o dos melgas de un lado de la parcela para que al siguiente año se siembre en la otra mitad de la parcela.

**FERTILIZACIÓN.** La veza se fertiliza principalmente con abono de corral antes de la siembra, el cual se distribuye a mano por toda la superficie que va a ser sembrada. Algunos campesinos aplican fosfato triple durante la labra con el objeto de obtener una buena cosecha.

**COSECHA.** La cosecha se puede realizar desde el mes de marzo, pero generalmente, se realiza hasta abril o mayo. Generalmente, se corta la planta con la hoz, aunque algunos campesinos arrancan la planta entera. Comúnmente, se hacen uno o dos cortes del cultivo, dependiendo del tiempo que tenga sembrado. El tiempo entre corte y corte es de un mes. En media hectárea se pueden cosechar en total, aproximadamente cuatro toneladas de veza. El corte de esta planta se puede hacer diariamente en algunas zonas de la parcela, dependiendo de las necesidades del campesino (Fig. 12).



**Figura 12.** Cultivo y cosecha de la veza

**RIEGOS.** Se aplican dos riegos antes de sembrar y cada 8 días después de sembrado el cultivo; más tarde se hacen cada 15 días o bien se realiza un riego cada mes dependiendo de la apariencia de la planta.

**ENFERMEDADES Y PLAGAS.** El campesino menciona que este cultivo presenta una gran ventaja, ya que es resistente al ataque de plagas y enfermedades, además de ser resistente a las bajas temperaturas.

**USOS.** La veza se utiliza como forraje; se les da a los animales, tanto fresca como seca. Una y media tonelada del cultivo (una camionada) son suficientes para alimentar a 10-15 animales grandes, principalmente vacas, durante tres días.

## **PRODUCCIÓN PECUARIA**

Esta actividad tiene una gran importancia económica y está estrechamente relacionada con el manejo de los camellones, ya que los desechos de estos animales se incorporan al suelo de manera que se reciclan estos abonos, aportando la materia orgánica necesaria para continuar los ciclos biogeoquímicos del sistema. La ganadería generalmente es de traspatio, de pequeña escala, para autoconsumo, y en ocasiones, para la venta de los productos derivados. En el VII Censo Agrícola y Ganadero del estado de Tlaxcla (INEGI, 1990 b) se reportan que de 3,659 unidades de producción en el Municipio de Ixtacuixtla, 2799 son utilizadas para autoconsumo y sólo 772 para venta local o nacional. Los animales domésticos más comunes son las vacas y los becerros; algunos campesinos poseen bueyes y asnos que son utilizados para el trabajo de campo. También existen los cerdos que son muy apreciados por su carne y se consumen en alguna festividad importante; pocos campesinos tienen chivos y borregos. Las aves de corral, gallinas, gallos, pollos, guajolotes y patos, también son comunes; algunas personas crían pollos de engorda, gallos de pelea y gallinas de postura para la producción y venta de huevo.

La ganadería, sin duda, contribuye significativamente a mejorar la economía y la alimentación del agricultor y su familia, por la leche, la carne y el huevo que se producen; además, parte del ganado se utiliza como fuerza de trabajo en el campo y produce estiércol con el que se abona el suelo. Los animales se alimentan en parte con las plantas arvenses que se eliminan durante los deshierbes de los camellones. En realidad, puede observarse que existe un reciclaje de materiales entre la casa y el camellón como parte del manejo de recursos que los campesinos realizan en estos agroecosistemas. En este reciclaje, se involucran principalmente los animales domésticos, los desperdicios caseros, los cultivos, los rastrojos y las arvenses.

## CONCLUSIONES

### *Revisión Bibliográfica*

“Camellones” y “Agricultura de campos drenados” son términos genéricos para el complejo total de métodos para mejorar y aprovechar este tipo de sistemas agrícolas. Estos métodos combinan los aspectos de ingeniería a través de la construcción de campos drenados que consta de una red de canales y zanjas que nivelan la cantidad de agua alrededor de las parcelas y de una agricultura basada en la producción bajo un manejo diversificado de cultivos, aplicación de fertilizantes orgánicos y presencia constante de agua en la producción agrícola

Las técnicas agrícolas y la ingeniería de campos drenados fueron bien conocidas en el México prehispánico.

Los camellones o campos drenados de Tlaxcala son plataformas con agua freática elevada, drenaje deficiente (principal problema de las tierras agrícolas locales), ciénegas y pantanos característicos del piso del valle en el suroeste del estado.

### *Camellones de Santa Inés Tecuexcomac, Tlaxcala*

En los camellones de Santa Inés Tecuexcomac se producen muy diversos cultivos anuales y perenes, incluyendo algunas especies de árboles frutales en sus orillas. Esta diversidad se presenta también en la vegetación silvestre: algunos árboles silvestres que bordean los camellones, las plantas acuáticas que crecen en el agua de zanjas y canales que los rodean, y en la diversidad de plantas arvenses que crecen dentro y fuera de los campos agrícolas. El maíz es el principal cultivo de esta región y de todo el estado de Tlaxcala, y se siembra comúnmente como un policultivo bajo la típica combinación: maíz, frijol, calabaza y maíz-leguminosa en los camellones de Santa Inés.

En los camellones los campesinos más tradicionales cultivan melgas con alfalfa, algunos surcos de haba, y en invierno, se cultiva veza y avena, usando un manejo diverso de leguminosas, tanto en el tiempo en los ciclos primavera-verano y otoño-invierno, como en el espacio sembrándolas en monocultivos o bien intercalándolas o mezclándolas con otros cultivos.

### *Manejo Tradicional de Leguminosas*

Existe una diversidad en la producción de especies y variedades de leguminosas. La alfalfa y el frijol común son las dos especies con mayor diversidad de variedades.

En la zona de El Bajío, donde se presentan las mejores condiciones en cuanto a relieve, tipo de suelo y riego, se siembran mayor número de camellones con alfalfa, en especial aquellos de propiedad privada, ya que este cultivo tiene gran demanda y se vende como forraje de alto contenido proteínico para el ganado en esta zona, y se puede cultivar si se abona y riega adecuadamente- hasta cuatro años en la melga. La variedad de alfalfa “atlisqueña” es reconocida por los campesinos como resistente a la sequía en los camellones de esta región geográfica y la variedad “peruana” como una de las más productivas.

En la preparación del suelo de los camellones, se utiliza comúnmente el arado (tracción animal) y en menor grado el tractor (de tracción de disco). La siembra se realiza a mano.

Los campesinos más tradicionales, seleccionan sus semillas del cultivo anterior por su tamaño, vigor y ausencia de plagas y enfermedades, dejando el número de plantas suficientes en el campo para su producción.

El frijol es un cultivo considerado como muy sensible al ataque por plagas; para su control el campesino acude a las tiendas de plaguicidas donde se le indica cuál producto utilizar para combatir la plaga; la mayoría de los campesinos de esta zona carece de la asesoría agronómica profesional o de extensionismo que teóricamente debía existir con el fin de recomendarles las medidas de control apropiadas para cada tipo de plaga o de problemas diversos en el manejo agrícola.

La alfalfa, el haba y la veza son cultivos resistentes al frío, por lo que se pueden sembrar en el ciclo primavera- verano, o en el ciclo otoño –invierno, lo que enriquece la diversidad de cultivos en los camellones en el espacio y el tiempo.

La veza es un cultivo apreciado por los campesinos por sus beneficios nutricionales como forraje, y como protector y mejorador del suelo, pero también por sus características de resistencia al frío y a las plagas.

La ganadería es una actividad importante en el poblado de Santa Inés Tecuexcomac, como fuente de proteínas de alta calidad para la alimentación humana y para aumentar los ingresos de la familia campesina. Es también una importante fuente de material orgánico y nutrimentos para la fertilización del suelo del camellón. De esta forma, en este sistema agrícola hay un intercambio y reciclamiento de materiales del camellón al establo y viceversa, manejando los diferentes componentes y recursos del sistema de manera complementaria e integral

## REFERENCIAS

- Albores-Zárate, A.B. 1999. *Las chinampas en un pueblo del alto Lerma*. En: J.J. Jiménez-Osornio y V.M. Rorive. (compiladores). *Los camellones y chinampas tropicales*. pp.111-124. Universidad Autónoma de Yucatán, Mérida.
- Altieri, M.A. 1987. *Agroecology: The Scientific Basis for Alternative Agriculture*. Westview Press. Boulder, Colorado.
- Altieri, M.A. y Trujillo, J. 1987. The agroecology of corn production in Tlaxcala, México. *Human Ecology* 15: 189-220.
- Anaya, A.L. 1999. Allelopathy as a tool in the management of biotic resources in agroecosystems. *Critical Reviews in Plant Science* 18: 697-739.
- Anaya, A.L., Calera, M.R., Mata, R. y Pereda-Miranda, R. 1990. Allelopathic potential of compounds isolated from *Ipomea tricolor* Cav. (Convolvulaceae). *Journal of Chemical Ecology*. 16: 2145-2152.
- Anaya, A.L., Ramos, L, Cruz-Ortega, R. y Nava, R.V. 1987. Perspectives on allelopathy in Mexican traditional agroecosystems: a case study in Tlaxcala. *Journal of Chemical Ecology* 13: 2083-2101.
- Anaya, A.L., Roy-Ocotla, G., Ortíz, L.M. y Ramos, L. 1982. *Potencial alelopático de las principales plantas de un cafetal*. En: E. Jiménez Avila, y A. Gómez Pompa (eds.). *Estudios ecológicos en el agroecosistema cafetalero*, pp. 83-92. Compañía Editorial Continental, S.A. México, D.F.
- Arévalo, R.J., Jiménez-Osornio, J.J. 1988. *Nescafé (Stizolobium pruriens L. Medic. var. utilis Wall ex Wright) como un ejemplo de experimentación campesina en el trópico*

- húmedo mexicano*. En: Del Amo, S. (ed). *Cuatro estudios sobre sistemas tradicionales*. pp. 75-98. Instituto Nacional Indigenista. México, D.F
- Armillas, P. 1946. Los olmecas-xicalancas y los sitios arqueológicos del sureste de Tlaxcala. *Rev. Mex. Est. Antro.* 8: 137-145.
- Armillas, P. 1971. Gardens on swamps. *Science* 174: 653-661.
- Caamal-Maldonado, J.A., Jiménez-Osornio, J.J., Torres-Barragán, A. y Anaya, A.L. 2001. The use of some allelopathic plants for weed control in agricultural management. *Agronomy Journal* 93: 27-36.
- Casas, A., Viveros, S.L., Katz, E. y Caballero, J. 1987. Las plantas en la alimentación mixteca: una aproximación etnobotánica. *América Indígena* 42:318-343.
- Casas, A., Viveros, S. L. y Caballero, J. 1994. *Etnobotánica mixteca*. Instituto Nacional Indigenista. México, D.F.
- Caballero, J. y Mapes, C. 1985. Gathering and subsistence patterns among the purepecha indians of México. *Journal of Ethnobiology*. 5: 31-47.
- Coe, M. 1964. The chinampas of Mexico. *Sci. Am.* 260: 90-96.
- Cox, G.W., Atkins, M.D. 1979. *Agricultural Ecology*. W.H. Freeman and Sons, San Francisco, California.
- Darch, J.E. (editor). 1983. *Drained field agriculture in Central and South America*. BAR International Series, Wallingford, Oxford. 189 p.
- Denevan, M.W. 1966. The aboriginal cultural geography of the Llanos de Mojos of Bolivia. *Revista Iberoamericana*. 48: 84 p.
- DGE. Dirección General de Estadística. 1960. *IV Censo general de Población de Tlaxcala*. México.
- García, E. 1973. *Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen*. Universidad Autónoma de México, México, D.F.
- González-Jácome, A. 1986. Agroecología del suroeste de Tlaxcala. En: Historia y sociedad en Tlaxcala. Memorias del 1er Simposio Internacional de Investigaciones Socio-Históricas sobre Tlaxcala. 16-18 de octubre de 1985, pp. 201-220. Gobierno del Estado de Tlaxcala. Tlaxcala, México.
- González-Jácome, A. 1999. *Los 'calales' del suroeste de Tlaxcala: una descripción del sistema en la cuenca del río Zahuapan*. En: J.J. Jiménez-Osornio, y V.M. Rorive

- (compiladores). *Los camellones y chinampas tropicales*. pp. 69-91. Universidad Autónoma de Yucatán. Mérida, Yucatán
- INEGI. 1984. *Manual de estadísticas del estado de Tlaxcala*. Instituto de Estadística, Geografía e Informática, México, D.F.
- INEGI. 1990. *VII Censo agrícola y ganadero del Estado de Tlaxcala*. Instituto Nacional de Geografía e Informática. Aguascalientes.
- INEGI. 1990 a. *Anuario estadístico del Estado de Tlaxcala*. Instituto de Estadística, Geografía e Informática, Aguascalientes.
- INEGI. 1990 b. *VII Censo agrícola y ganadero Tlaxcala. Resultados definitivos*. Tomo I. Instituto de Estadística, Geografía e Informática. Aguascalientes.
- Legard, S.I. 1991. Transfer of fixed nitrogen from white clover to associated grasses in swards grazed by dairy cows, estimating using N<sup>15</sup> methods. *Plant and Soil* 131: 215-228.
- Mota y Ecobar, A. 1945. Memorias del obispo de Tlaxcala Fray Alonzo de la Mota y Escobar. *An. Inst. Nal. Antrop. Hist.* 1: 191-306.
- Motolinía, T. 1951. *History of the Indians of New Spain*. Washington, D.C. EUA.
- Palerm, A. y Wolf, E. 1972. *Agricultura y Civilización en Mesoamérica*. Ediciones Guernika, México, D.F. 216 p.
- Parsons, J.J. y Bowen, A.W. 1966. Ancient ridged fields of the San Jorge River floodplain, Colombia. *Geogr. Rev.* 56: 317-343.
- Pereda-Miranda, R., Mata, R., Anaya, A.L., Pezzuto, J.M., Wickramaratne, D.B.M. y Kinghorne, A .D. 1993. Structure and biological activities of Tricolorin A, major phyto-growth-inhibitor from *Ipomoea tricolor*. *J. Nat. Prod.* 56: 571-582.
- Ramos, L., Anaya, A.L. y Nieto de Pascual, J. 1983. Evaluation of the allelopathic potential of the dominant herbaceous species in a coffee plantation. *J. Chem. Ecol.* 9: 1079-1097.
- Rojas, R.T. 1983. *La Agricultura Chinampera*. Compilación Histórica. Universidad Autónoma de Chapingo. Chapingo.
- Rebolledo Recendiz, N. 1999. *Agricultura de camellones en Tlaxcala: el caso de Santa Inés Tecuexcomac*. En: J.J., Jiménez-Osornio y V.M. Rorive, (compiladores). *Los*

- camellones y chinampas tropicales*. 93-108 p. Universidad Autónoma de Yucatán. Yucatán, Mérida.
- Toledo, V. 1988. La diversidad biológica en México. *Ciencia y Desarrollo* XIV: 17-30.
- Toledo, V. M. 1992. What is ethnoecology? Origins, scope and implications of a rising discipline. *Etnoecológica* 1: 5-22.
- Trautmann, W. 1981. *Las Transformaciones en el paisaje cultural de Tlaxcala durante la época colonial*. Franz Steiner Verlag GMBH. Wiesbaden.
- Wellhausen, E.J. 1986. The agriculture of Mexico: The green revolution. Bi-National Interdisciplinary Conference on the History of Mexican Agriculture. University of California, Riverside.
- Wilken, C.G. 1966. *Good Farmers: Traditional Agricultural Resources Management in Mexico and Central America*. University of California Press, Berkeley.
- Wilken, C.G. 1969. Drained-field agriculture: an intensive farming system in Tlaxcala, Mexico. *The Geographical Review* LIX: 215-241.

### **CAPÍTULO III**

**Características Químicas del Suelo, Calidad del Agua de Riego y Producción de Alfalfa (*Medicago Sativa L.*) bajo Manejo Tradicional en Tres Camellones de Santa Inés Tecuexcomac Tlaxcala**

## CAPÍTULO III

### **Características Químicas del Suelo, Calidad del Agua de Riego y Producción de Alfalfa (*Medicago Sativa L.*) bajo Manejo Tradicional en Tres Camellones de Santa Inés Tecuexcomac Tlaxcala**

#### **RESUMEN**

Debido a las alteraciones ecológicas, en especial en la calidad del agua de riego a lo largo del cauce de los ríos Atoyac-Zahuapan, por las descargas de diferentes industrias, se consideró importante conocer la calidad del agua de riego, la salinidad y fertilidad de los suelos y la producción del cultivo de alfalfa bajo manejo tradicional en tres camellones de Santa Inés Tecuexcomac, Tlaxcala. Los objetivos de este estudio fueron: 1) evaluar los índices de salinidad y de fertilidad en los suelos de los tres camellones, dos de ellos situados en el valle (El Bajío y La Laguna) y regados con agua del río Atoyac, y otro situado en la parte alta del cerro (La Loma) y regado con agua de pozo; 2) analizar las características químicas del agua de riego del río Atoyac (en el valle) y del pozo (en el cerro); y 3) evaluar la producción de alfalfa en los tres camellones. Los suelos arenosos de La Loma presentaron deficiencias de materia orgánica, N,  $\text{Ca}^{++}$  y  $\text{K}^+$ , probablemente porque la textura arenosa del suelo puede estar favoreciendo la lixiviación de éstos. Por el contrario, los suelos francos de La Laguna son extremadamente ricos en MO (materia orgánica), N,  $\text{Ca}^{++}$  y  $\text{Mg}^{++}$ ; y en estos suelos el manto freático es más elevado. En cuanto a la calidad del agua de los tres sitios, ésta se clasificó como agua C2S1 es decir con salinidad media y sin problemas de sodicidad, cuya calidad es buena con base en los índices de salinidad efectiva, salinidad potencial, carbonato de sodio residual y presencia del ion cloro. En las zonas de El Bajío y La Laguna los campesinos sembraron la variedad de alfalfa “Atlixqueña” y en la zona de La Loma la variedad “Peruana”, que se considera más productiva. En la zona de La Loma se registró un mayor número de individuos de alfalfa por área, en comparación con las zonas de El Bajío y La Laguna. La biomasa fresca, el ancho de la hoja, el total de la superficie de hojas por individuo y la altura de las plantas fueron también mayores en la zona de La Loma con respecto a las otras dos zonas. La

biomasa fresca y el número de individuos mostraron una relación directa con la biomasa seca.

## INTRODUCCIÓN

Existe una extensa bibliografía sobre el cultivo de la alfalfa en relación con su producción y diversos factores ambientales, tanto bióticos como abióticos, que influyen en el cultivo. El interés por su estudio radica en la importancia económica y el uso de este cultivo de amplia distribución en el mundo, como un excelente forraje verde o como pastura y alimento ensilado para una gran diversidad de animales: reses, ovejas, cabras, caballos, camellos y aves de corral. Además, se trata de una leguminosa altamente productiva y de alto valor alimenticio por su contenido de proteína. Por otro lado, la alfalfa es una planta útil para la conservación del suelo, su cultivo actúa como cubierta en invierno y también evita su erosión y aporta nutrimentos al suelo (Larney y Janzen, 1996).

### **Factores ambientales importantes en el desarrollo de la alfalfa**

**Temperatura.** La alfalfa tiene una amplia distribución debido a su notable adaptación a diversos climas y suelos. En México se encuentran variedades de alfalfa que se cultivan en altitudes desde 0 hasta 2,500 m. Se le puede encontrar en climas templados, cálidos y secos, y resiste heladas no muy intensas. Robles (1983) menciona que algunas variedades de alfalfa toleran sin dificultad temperaturas muy bajas entre -10 y -15°C. La temperatura media anual para la producción forrajera está en torno a los 15°C, el intervalo óptimo se sitúa, según las variedades, entre los 18 y 28°C.

**Luz y Fotoperiodo.** La alfalfa se encuentra en el grupo de plantas que tienen una capacidad fotosintética baja, relacionada con una menor absorción de CO<sub>2</sub>, un bajo punto de saturación de luz, un alto punto de compensación de CO<sub>2</sub> (mayor de 30  $\mu\text{mol mol}^{-1}$ ) y de fotorespiración. La mayoría de los cultivares de alfalfa son de días largos, como condición para estimular la floración; también se ha reportado que se requiere de una mayor intensidad de luz para la inducción floral en este cultivo. Los procesos asociados con la iniciación y el desarrollo floral, la polinización y la formación de semillas también están

marcadamente influenciados por la temperatura. Cuando la alfalfa se encuentra expuesta a valores extremos de temperaturas máximas y mínimas, se observa una reducción en el número de racimos, flores por racimo, número de vainas y semillas por vainas (Henning y Nelson, 1993).

**Suelos y pH.** El pH óptimo para el cultivo de la alfalfa es de 7.2; si el pH fuera ácido, se convierte en un factor limitante para su desarrollo y puede causar: 1) disminución de la nodulación y, por ende, una nutrición nitrogenada deficiente en la planta; 2) deficiente utilización del ion calcio; y 3) aumento de la absorción de iones aluminio y manganeso, cuyo exceso produce efectos tóxicos en las plantas. La menor abundancia de calcio en suelos ácidos también puede limitar el crecimiento de la alfalfa, simplemente porque el ion  $H^+$  es mucho más tóxico para las raíces en la ausencia de calcio. El pH tiene una fuerte influencia sobre la solubilidad de ciertos elementos en el suelo y el grado en el cual son absorbidos por las plantas. El fierro, el zinc, el cobre y el manganeso son menos solubles en suelos alcalinos que en suelos ácidos porque se precipitan como hidróxidos en pH alto. En suelos ácidos, en los que el ion divalente  $H_2PO_4^-$  podría ser predominante, las altas concentraciones de los iones aluminio causan su precipitación como fosfato de aluminio, lo que hace que los fosfatos estén menos disponibles para las plantas; por otro lado, el aluminio tiene un efecto tóxico directo sobre el metabolismo de las plantas. La acidez del suelo también inhibe la absorción de fierro por las plantas (Salisbury y Ross, 1992).

**Salinidad.** La alfalfa es considerada como un cultivo bastante tolerante a la salinidad, pero esta tolerancia se refiere únicamente al período adulto de la planta. Hussain *et al.* (1995) realizaron un experimento con diversos cultivares de alfalfa y encontraron que la mortalidad de las plántulas que son sensibles a la salinidad, puede ser del 100% cuando son regadas con agua salina de  $12 \text{ dSm}^{-1}$  durante 2 semanas después de germinadas. Estos autores también reportan que su crecimiento es óptimo en suelos profundos, secos y bien drenados.

En general, las plantas pueden enfrentar dos tipos de problemas en los suelos salinos y/o sódicos: 1) la planta tiene que obtener agua de un suelo con potencial osmótico negativo, y 2) las plantas están sujetas a las altas concentraciones de iones sodio, carbonatos y cloro que pueden ser potencialmente tóxicas. Algunos cultivos son más tolerantes a concentraciones altas de sales, tal es el caso del betabel, jitomate y centeno,

pero otros son susceptibles a este factor, como la cebolla y el chícharo. Algunas arvenses muestran una gran tolerancia a la salinidad, por ejemplo, *Atriplex*, ya que la presión osmótica de su savia, por la mayor acumulación de sales, es de alrededor de -17 MPa, en contraste con los rangos normales de -1.0 a -3.0 MPa en la mayoría de las plantas (Salisbury y Ross, 1992).

**Agua de Riego.** En relación con este factor, los cultivos de alfalfa no sólo necesitan cantidades adecuadas de agua para poder sobrevivir y producir biomasa, sino que en condiciones de riego, es fundamental que se considere su calidad, particularmente su composición química y la tolerancia de los cultivos a las sales. Asociado a esto, son importantes las propiedades físicas y químicas de los suelos, las prácticas de manejo, el clima, el método de riego y las condiciones de drenaje interno y superficial del suelo (Aguilera y Martínez, 1986).

En México, Ortiz y Olguín (1997) consideran diversas características del agua con el fin de proponer índices de clasificación del agua de riego. Estas características son: 1) el contenido de sales solubles, que a su vez determina las siguientes características: conductividad eléctrica (CE), que es una medida indirecta de la concentración de sales; salinidad efectiva (SE), que considera la precipitación de sales menos solubles como: el carbonato de calcio, el magnesio y el sulfato de calcio; y salinidad potencial (SP) que estima la presencia de cloruros y fosfatos que pueden aumentar la presión osmótica cuando la humedad del suelo es de menos de 50%. 2) el efecto probable del sodio sobre las características físicas del suelo, para lo cual se utiliza la relación de adsorción de sodio (RAS) y carbonato de sodio residual (CSR) por el mismo. Cuando en el agua de riego el contenido de carbonatos y bicarbonatos es mayor que el del calcio y del magnesio, y se forma carbonato de sodio en cantidades suficientes para desplazar a estos dos elementos del complejo de intercambio, se pierde la estructura del suelo; y 3) el contenido en el agua, de elementos tóxicos para las plantas, tales como cloruros y boro (ver Anexo).

Con base en lo anterior se considera un intervalo de valores para clasificar la calidad del agua de riego como buena, condicionada y no recomendable (Cuadro 1).

**Cuadro 1.** Límites para determinar la calidad del agua de riego según los diferentes parámetros calculados

Índice	Buena	Condicionada	No recomendable
Salinidad efectiva (meq L <sup>-1</sup> )	< 3.0	3 - 15	> 15
Salinidad potencial (meq L <sup>-1</sup> )	< 3.0	3 - 15	> 15
Carbonato de sodio Residual (meq L <sup>-1</sup> )	<1.25	1.23 - 5	>2.5
Cloro (ppm)	< 0.30	0.3 - 4.0	> 4.0

(Tomado de Ortiz-Olguín, 1997).

En el presente trabajo se consideraron los índices del Cuadro 1 para clasificar la calidad química del agua utilizada para el riego de la alfalfa en las tres zonas de estudio.

La salinidad y la sodicidad en el agua de riego son variables ambientales a las cuales se les ha prestado mayor atención y se han estudiado más debido a que cada vez existe un mayor número de regiones en todo el mundo en donde se presentan suelos marginales y graves problemas de sequía, que aunados a condiciones de salinidad en el agua de riego, se suman al deterioro y pérdida de suelos agrícolas (Richards, 1973).

Varios estudios se han enfocado a estudiar el efecto del agua salina de riego sobre la germinación de las semillas, la emergencia y la supervivencia de plántulas de alfalfa. Bauder *et al.* (1992) mostraron en un estudio de invernadero que un alto contenido de sólidos disueltos y una alta relación de sodio en el agua de riego, causaron una mayor mortalidad en suelos drenados. Se ha demostrado, tanto en condiciones de campo como de laboratorio, que concentraciones de sales mayores de 7.8 dS m<sup>-1</sup> en el agua de riego disminuyen la producción de biomasa y el contenido de proteínas en la parte aérea de la alfalfa, y que su efecto se agudiza en las variedades más susceptibles a la salinidad (Hussain *et al.*, 1995).

En estudios más finos a nivel celular y molecular se ha probado el efecto de sales, principalmente NaCl, sobre diferentes parámetros en la alfalfa. Mohamed y Ahmed (1995) reportaron una mayor acumulación de Na<sup>+</sup> en los tejidos de las plantas de alfalfa más tolerantes a la salinidad al agregar concentraciones de NaCl de 0 a 3,000 ppm, en 13

cultivares de *M. sativa*. Por otro lado, encontraron que los niveles de  $K^+$  fueron inversos a los del sodio.

Xu y Yu (1991) probaron diferentes concentraciones de NaCl en el tejido de callos de *M. sativa*, cuantificando el crecimiento de este tejido y la cantidad de proteínas de diferente densidad como respuesta al estrés salino. Estos autores encontraron que a concentraciones mayores de 0.5% de NaCl, no se incrementaban las proteínas de 24 kDa, pero sí las de 36 a 42 kDa. En un subcultivo de callo adaptado a la salinidad, en donde se hizo crecer el tejido de alfalfa expuesto a 1.0 % de NaCl, se acumularon altos niveles de una proteína de 24 kDa; esta proteína también se encontró en callo de tabaco adaptado a altos niveles de NaCl.

Rumbaugh *et al.* (1993), al considerar que lo que se encuentra en la naturaleza es una combinación de sales y no la presencia de sales individuales, probaron concentraciones de soluciones de una o dos sales de sulfatos y cloruros de  $Na^+$ ,  $K^+$  y  $Mg^{2+}$  sobre la germinación de semillas de variedades de alfalfa tolerantes y resistentes al factor salinidad. Los análisis de correlación simple mostraron que la germinación se vio más afectada por concentraciones de  $Na^+$  que por otra variable simple, pero cuando se consideraron todas las variables independientes, las concentraciones de  $Cl^-$  y  $Mg^{2+}$  fueron más importantes que el  $Na^+$ , e incluso que otras variables, como el uso de otras variedades, la presión osmótica y el pH de la solución.

**Nutrientos.** Por otro lado, la planta de alfalfa, como todas las demás, requiere de ciertos nutrientes para su crecimiento y desarrollo. Un desequilibrio nutricional que implica el exceso o deficiencia de un elemento, puede limitar o condicionar la absorción de otros por parte de la planta. Esto puede disminuir el rendimiento, y en casos extremos, causar severos daños a los cultivos. Rhykerd y Overldahl (1972) encontraron que los cortes en el cultivo de alfalfa provocan un continuo y progresivo agotamiento de sustancias minerales, lo que puede provocar deficiencias de uno o más nutrientes, incluso en suelos fértiles.

La simbiosis alfalfa/*Rhizobium* está relacionada de manera indisoluble con la respuesta de la planta al nitrógeno. Una correcta inoculación de la alfalfa con *Rhizobium* puede dar como resultado una alta fijación de nitrógeno atmosférico, por lo que la aplicación de fertilización con nitrógeno adicional sólo se recomienda al inicio del cultivo o cuando éste se establece en suelos pobres en nitrógeno, en cultivos de manejo intensivo

o en aquellos con muchos años de cultivo continuo (Pingnenborg and Lie, 1990). La simbiosis entre la alfalfa y *Rhizobium* resulta ser muy sensible a la acidez del suelo, ya que ésta reduce el desarrollo nodular y, por ende, la fijación simbiótica de nitrógeno atmosférico (Tisdale y Nelson, 1977). En relación con la respuesta a la adición de  $P_2O_5$  (200 a 400 kg ha<sup>-1</sup>), Kim y Lee (1996) encuentran que el número de nódulos no se vio afectado, mientras que la fijación de N fue más alta a mayor concentración de P a los 72 días después de la siembra.

La respuesta de la alfalfa al fósforo es más marcada durante el periodo de crecimiento inicial, debido al limitado sistema radicular que posee. Por otra parte, un bajo suplemento de fósforo reduce tanto el número como la eficiencia de las bacterias nodulantes. En general, se han obtenido respuestas benéficas a la fertilización fosfatada en suelos con bajos niveles disponibles de dicho elemento; el fósforo, en la mayoría de los casos es un elemento limitante en los suelos (Salisbury y Ross, 1992).

El potasio se encuentra en la alfalfa en concentraciones más elevadas con respecto a otros nutrimentos, a excepción del nitrógeno, por lo que con frecuencia es un elemento clave para una mayor producción de alfalfa de calidad.

La alfalfa es un cultivo que incorpora grandes cantidades de calcio. Este elemento promueve el desarrollo radicular y es esencial para los procesos de nodulación y fijación de  $N_2$ . La fertilización con  $Ca^{++}$  o encalado incrementa los procesos de degradación de materia orgánica realizada por los microorganismos, aumentando los nutrimentos para las plantas. El encalado puede incrementar la disponibilidad de Mo y P, pero un encalado excesivo puede disminuir la disponibilidad de P y  $B^{+++}$ , y reducir la solubilidad de  $Fe^{+++}$ ,  $Al^{+++}$  y  $Mn^{+++}$ ; por su toxicidad, estos dos últimos elementos han sido considerados como los causantes de un pobre crecimiento de la alfalfa (Su y Evans, 1996). La fertilización con  $Ca^{++}$  se realiza comúnmente para corregir la acidez del suelo; con respecto a este efecto, la respuesta de rendimiento de la alfalfa al calcio es positiva, sobre todo en aquellos suelos con un pH ácido, debajo de 4 y hasta 6 (Reid, 1996).

En el caso del magnesio, es importante señalar que las leguminosas son consideradas como plantas eficientes en la utilización de este elemento en el suelo, superando, bajo las mismas condiciones ambientales, a las gramíneas (Fassbender, 1975). El  $Mg^{++}$  es extremadamente importante en la nutrición de las plantas ya que es esencial para la

fotosíntesis y el metabolismo de los carbohidratos, del nitrógeno y la síntesis de lípidos. El crecimiento de la alfalfa puede ser limitado si las concentraciones de  $Mg^{++}$  en forraje seco son menores del 0.3% (Rhykerd y Overdahl, 1972).

En cuanto al azufre, la alfalfa es considerada como exigente en sus requerimientos de este elemento, ya que extrae alrededor de  $3 \text{ kg Ton}^{-1}$  de biomasa seca. Se han reportado incrementos en la producción de alfalfa, hasta el tercer año de fertilización con azufre, detectándose incrementos de este elemento en los tejidos de la alfalfa. En otros casos, aunque se ha observado un aumento de azufre en la planta, éste no ha repercutido en la producción (Hanson, 1972). MacAdam *et al.* (1997) probaron agua de riego con diferentes concentraciones de  $SO_4^{-2}$  ( $175\text{-}1743 \text{ mg L}^{-1}$ ) y observaron un incremento en el crecimiento de los tallos de la alfalfa a un nivel moderado de  $SO_4^{-2}$  en la solución del suelo.

En el presente trabajo, en la zona de estudio situada en Santa Inés Tecuexcomac, Tlaxcala, se pudo observar que el cultivo de la alfalfa es muy importante ya que esta zona cuenta con disponibilidad de agua de riego todo el año. El riego se realiza utilizando agua de los ríos Atoyac y Zahuapan, y de los pozos de la región. Uno de los problemas importantes en esta región del estado de Tlaxcala desde 1981, es la contaminación de ambos ríos en el municipio de Ixtacuixtla según reportes del INEGI (1984), por efecto de la descarga orgánica de diferentes industrias a estos cuerpos de agua. Por esta razón, se consideró importante conocer las características químicas de esta agua y compararlas con el agua de un pozo que se usa para el riego. Del mismo modo, nos pareció importante evaluar los índices de salinidad y los nutrimentos en los suelos sujetos a riego con una y otra agua, y cuantificar la producción de biomasa en la alfalfa y otros parámetros de crecimiento de la planta en las tres zonas de estudio.

De acuerdo con la información presentada en la introducción, la productividad del cultivo de la alfalfa debe ser menor en las zonas de estudio en donde las parcelas se riegan con agua de mala calidad, debido a la presencia de un exceso de sales y al alto contenido del ion cloro, lo mismo que en suelos con problemas de salinidad, sodicidad y concentraciones inadecuadas de nutrimentos para este cultivo.

Para analizar este problema, se plantearon los siguientes objetivos: 1) evaluar los índices de salinidad y de fertilidad en los suelos de tres camellones, dos de ellos situados

en el valle (El Bajío y La Laguna) y regados con agua del río Atoyac, y otro situado en la parte alta del cerro (La Loma) y regado con agua de pozo; 2) analizar las características químicas del agua de riego del río Atoyac (en el valle) y del pozo (en el cerro); y 3) evaluar la producción de alfalfa en los tres camellones, durante el periodo de corte que hacen los campesinos en la época de invierno. Esto se llevó a cabo sin la realización de un planteamiento experimental, sino a través de la evaluación directa de los parámetros mencionados en los tres camellones manejados por los campesinos.

## **MATERIALES Y MÉTODOS**

### **Investigación en el campo**

#### **Características de las áreas agrícolas**

En Santa Inés Tecuexcomac, el campesino identifica las tres áreas agrícolas que se mencionaron en el Capítulo II: 1) El Bajío, que es un valle caracterizado por la presencia de camellones típicos regados con agua proveniente del río Atoyac. 2) La Loma es un área más elevada que El Bajío, aproximadamente 40 m, que presenta algunas zonas de tepetate. En 1987, el Gobierno del estado de Tlaxcala financió el uso de maquinaria pesada para romper el tepetate y poder utilizar el terreno para la agricultura. En La Loma el agua para riego se extrae de los pozos, con bombas, y se distribuye por medio de canales con recubrimiento de cemento. 3) La Laguna es un sitio que estaba ocupado por un gran cuerpo de agua y cuyas aguas fueron encauzadas hacia un canal. En esta zona el manto freático es muy elevado, y los camellones están delimitados por canales sin recubrir que contienen agua permanentemente, así como plantas y animales acuáticos. La superficie de los camellones en esta área es mayor que en las otras dos, mientras que el número de árboles alrededor de los camellones es menor.

#### **Selección de los camellones**

Se seleccionó un camellón sembrado por los campesinos con alfalfa, en cada una de las tres áreas mencionadas: El Bajío, La Loma y La Laguna. Esta selección se llevó a cabo considerando la variedad de alfalfa sembrada y la fuente de agua empleada para el riego.

La variedad de alfalfa "atlixqueña" estaba sembrada en los camellones de El Bajío y La Laguna, ya que a pesar de la disponibilidad continua de agua en estas dos áreas, los campesinos la prefieren por ser más resistente a la sequía; de esta manera, previenen cualquier escasez de lluvia durante el temporal. La variedad "peruana" estaba sembrada en el camellón de La Loma, por que ahí los campesinos la prefieren por ser más productiva y estar más adaptada al tipo de suelo de este lugar. En los tres camellones la alfalfa se sembró a principios de abril del año anterior, por lo tanto tenía un año de edad. Los tres camellones se fertilizaron con abono de corral antes de la siembra y los riegos aplicados en la época de secas se hicieron cada 15 días o más dependiendo de la apariencia del cultivo.

Para realizar la colecta de suelo y la medición de las características fenológicas de la alfalfa y de la biomasa de la misma en cada uno de los tres camellones, se delimitó un cuadrante de 4m × 3 m, sembrado con alfalfa.

### **Colecta y análisis químico del suelo**

En cada uno de las áreas de 4 × 3 m de la melga de alfalfa en cada camellón, se seleccionaron al azar cuatro sub-cuadrantes (0.25 × 0.25 m) y se tomaron en ellos muestras de suelo a dos profundidades: de 0 a 30 cm y de 30 a 60 cm (Fig. 1).

Las muestras de suelo de cada profundidad, en cada uno de los tres camellones, se mezclaron, se secaron a temperatura ambiente y se tamizaron para obtener una muestra única para cada profundidad en cada camellón. Las muestras de suelo fueron enviadas al laboratorio de Fertilidad de Suelos del Colegio de Posgraduados, Montecillos para la realización de los siguientes análisis físicos y químicos: textura (método del hidrómetro de Bouyucos), conductividad eléctrica (CE) (puente estándar de Wheaton), pH (potenciométricamente) y materia orgánica (método de Walkley y Black). También se determinaron los cationes intercambiables: calcio y magnesio (método del Versenato), sodio y potasio (flamometría) y los aniones, carbonatos y bicarbonatos (titulación con H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>-0.01 N), cloruros (titulación con AgNO<sub>3</sub>-0.005 N) y los sulfatos por precipitación con BaCl<sub>2</sub> según la metodología de CSTPA (1980).

### **Colecta y análisis químico del agua de riego**

Se tomaron tres muestras de agua a lo largo de las zanjas que circundaban a cada uno de los camellones, el de El Bajío y el de La Laguna; y tres muestras del pozo más cercano al camellón de estudio en La Loma. Todas las muestras de agua se enviaron al Laboratorio de Fertilidad de Suelos del Colegio de Posgraduados, Montecillos para determinar pH, conductividad eléctrica, concentración de cationes:  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{++}$  y  $\text{Mg}^{++}$ , y los aniones: cloruros, sulfatos y carbonatos de acuerdo con la metodología de CSTPA (1980).

La clasificación de la calidad del agua de riego de los tres camellones en cada área, se hizo con base en los índices de salinidad efectiva, salinidad potencial, carbonato de sodio residual y concentración del ión cloro según Ortiz-Olguín (1997). Se realizó un ANOVA y pruebas de Bonferroni de comparación de medias para ver diferencias entre los valores medios de pH y los cationes y aniones de las fuentes de agua de riego cercanas a los tres camellones de estudio, utilizando el programa SYSTAT ver 5.01 (1990 -1992).

### **Colecta y determinación de características fenológicas y biomasa de las plantas de alfalfa.**

En cada uno de las áreas de  $4 \times 3$  m de la melga de alfalfa en cada camellón de los tres camellones, se cortaron al ras del suelo todas las plantas de alfalfa y se dejaron crecer durante 20 días con el fin de contar con plantas de alfalfa de igual desarrollo; el campesino realiza comúnmente los cortes de alfalfa cada 20 días. Después de este periodo, cada área se dividió en cuadros de  $0.25 \text{ m} \times 0.25 \text{ m}$  (192 cuadros) para la colecta de las plantas de alfalfa (Fig. 1). Para esta colecta sólo se consideraron los cuadros centrales con el fin de evitar el efecto de orilla. Se aplicó un muestreo al azar con conglomerado en dos etapas: en la primera se seleccionaron los 10 cuadros o unidades primarias de muestreo o conglomerados (Méndez, 1981) y en la segunda, se cortaron nuevamente todas las plantas de alfalfa al ras del suelo con objeto de evaluar sus características (Fig. 1). En cada cuadro se cuantificaron las siguientes variables: número de individuos, altura de las plantas, número de folíolos por planta, largo, ancho y superficie de los mismos obtenida de la multiplicación del largo por el ancho del folíolo. Después de medir éstas, se cuantificó el peso fresco de las plantas y luego se secaron

éstas a 60°C, hasta peso constante para determinar su peso seco. Considerando el peso seco obtenido, la superficie colectada y el periodo de crecimiento (20 días), se calcularon también los valores de productividad de la alfalfa para cada zona ( $\text{g m}^{-2} \text{d}^{-1}$ ). Para evaluar los resultados de las características de la planta sobre la biomasa seca, se realizó un modelo de regresión lineal múltiple y se efectuó un ANOVA y pruebas de Bonferroni de comparación de medias para detectar diferencias significativas entre los valores de las medias de las variables de la alfalfa estudiadas en los tres camellones, utilizando el programa SYSTAT ver 5.01 (1990 -1992).

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32
33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48
49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64
65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80
81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96
97	98	99	100	101	102	103	104	105	106	107	108	109	110	111	112
113	114	115	116	117	118	119	120	121	122	123	124	125	126	127	128
129	130	131	132	133	134	135	136	137	138	139	140	141	142	143	144
145	146	147	148	149	150	151	152	153	154	155	156	157	158	159	160
161	162	163	164	165	166	167	168	169	170	171	172	173	174	175	176
177	178	179	180	181	182	183	184	185	186	187	188	189	190	191	192



**Figura 1.** Sitios de muestreo de plantas y suelos de 4 m × 3 m en una melga de alfalfa.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Análisis químico del suelo en las tres zonas de estudio

#### Textura

En relación con la textura, los resultados del análisis mostraron que las zonas de El Bajío y La Laguna tienen un suelo franco-arcillo-arenoso, y la zona de La Loma uno de tipo franco-arenoso. Esto significa que en relación con las condiciones presentes en cuanto a textura, los camellones de El Bajío y La Laguna presentan mejores condiciones

estructurales y de porosidad que los de La Loma, considerando que la alfalfa se desarrolla de manera óptima en suelos limo-arenosos calcáreos con alto contenido de fósforo y potasio (Honorato, 2000).

**Cuadro 2.** Valores promedio (%) de arena, arcilla y limo en las tres zonas y en dos profundidades.

Partículas	El Bajío		La Laguna		La Loma	
	cm	cm	cm	cm	cm	cm
%	0-30	30-60	0-30	30-60	0-30	30-60
<b>Arena</b>	<b>52</b>	<b>72</b>	<b>80</b>	<b>80</b>	<b>44</b>	<b>68</b>
<b>Arcilla</b>	<b>24</b>	<b>20</b>	<b>12</b>	<b>14</b>	<b>32</b>	<b>18</b>
<b>Limo</b>	<b>18</b>	<b>8</b>	<b>8</b>	<b>6</b>	<b>24</b>	<b>14</b>

### **pH, conductividad eléctrica, materia orgánica y nitrógeno**

En el Cuadro 3 se muestran otras características de los tres suelos. Los de El Bajío y La Loma, en ambas profundidades, son ligeramente alcalinos y en La Laguna fueron medianamente alcalinos (Vázquez, 1996). La alfalfa se desarrolla pobremente en suelos ácidos. Las lluvias abundantes favorecen la lixiviación del calcio y la formación de suelos ácidos; por ello, este elemento es normalmente escaso en estos últimos y abundante en suelos con pH alto. Las concentraciones moderadas de calcio favorecen el desarrollo de nódulos en las raíces sobre diferentes leguminosas; la fijación de nitrógeno por las leguminosas es mayor en suelos ricos en calcio y menor en suelos ácidos (Buerkeret, *et al.*, 1990; Pingnenborg y Lie, 1990).

En todos los camellones los suelos no presentan problemas de salinidad; la zona de La Laguna presentó una conductividad eléctrica ligeramente mayor ( $1.96 \text{ dSm}^{-1}$ ) y en la zona de La Loma se registró la menor ( $0.34 \text{ dSm}^{-1}$ ). La capa superior del suelo de El Bajío fue medianamente pobre en materia orgánica y pobre en la profundidad de 30 a 60 cm. En La Loma fue extremadamente pobre en ambas profundidades, en cambio en La Laguna los suelos fueron extremadamente ricos en materia orgánica. Respecto a la cantidad de

nitrógeno total en el suelo, también encontramos los valores más altos en La Laguna, seguidos por los de El Bajío y La Loma (Cuadro 3).

Los suelos de El Bajío y La Loma son bajos en materia orgánica de acuerdo a los reportados en suelos de regadío, los cuales presentan un intervalo entre 2 a 4 % (Porta *et al.*, 1994). Estos datos parecen indicar un manejo diferente en cuanto a la fertilización orgánica de las parcelas por el campesino. Este aporte de materia orgánica al suelo agrícola es de gran importancia, ya que le confiere propiedades físicas, químicas y biológicas que mantienen la fertilidad del suelo y para conservarla a largo plazo de manera sostenible, deberán estar disponibles los nutrientes en todo momento. Como se menciona en el Capítulo II una forma común de fertilización tradicional en los camellones de Tlaxcala es la aplicación de estiércol que contiene una gran cantidad de agua y para aportar la cantidad de nutrientes que la planta necesita se deben aplicar 25 T/ha o más y aplicarse e incorporarse este estiércol fresco al suelo o bien evitar la pérdida de nutrientes por lixiviación o volatilización (Ramis y Terreros, 1991).

**Cuadro 3.** Valores promedio de pH, conductividad eléctrica (CE), materia orgánica (MO) y nitrógeno total (N) en las tres zonas de estudio.

Zonas	Prof. cm	pH	CE dS m <sup>-1</sup>	MO %	N %
El Bajío	0-30	7.86	0.64	1.471	0.18
	30-60	7.88	0.57	0.68	0.05
La Loma	0-30	7.69	0.34	0.48	0.04
	30-60	7.68	0.31	0.21	0.04
La Laguna	0-30	7.75	1.96	7.00	3.30
	30-60	7.75	0.90	4.49	1.30

### Cationes y aniones

El Cuadro 4 muestra los valores correspondientes a los cationes y aniones en los suelos de las tres zonas de estudio. La relación Ca/Mg en todos los suelos muestreados fue menor a la unidad, con la excepción de la capa profunda del suelo de La Laguna, es decir, que allí se presenta una cantidad ligeramente mayor de Mg<sup>2+</sup> que de Ca<sup>2+</sup>, a pesar de ser suelos aluviales calcáreos en donde predominan los iones de Ca<sup>++</sup> (Fassbender, 1975).

En la zona de La Laguna, el suelo presentó una mayor cantidad de carbonatos, bicarbonatos, cloruros, potasio, sodio y calcio que los suelos de El Bajío y La Loma. Estos valores altos de elementos en la zona de La Laguna se deben precisamente a la cercanía con este cuerpo de agua y por ende a un nivel freático alto, con mayor evaporación del agua, lo que favore la acumulación de sales en la superficie del suelo, así como una mayor aportación de sales por una mayor aplicación de estiércol, como se muestra en los datos de materia orgánica en este zona. La suma de estos elementos y componentes en la zona de La Laguna confieren un mayor contenido de sales al suelo, sin que se presenten problemas de salinidad. La mayor elevación del manto freático no permite un buen desarrollo de la raíz y por ende de la parte aérea de la alfalfa, a pesar de que el suelo de La Laguna es el más rico en materia orgánica, nitrógeno y cationes.

**Cuadro 4.** Valores promedio de cationes y aniones en el suelo de las tres zonas de estudio.

Zonas	Prof. (cm)	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	HCO <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Cl <sup>-</sup>
		-----(meq l <sup>-1</sup> )-----							
<b>El Bajío</b>	0-30	2.08	2.88	0.56	2.32	0.97	4.82	0.94	0.42
	30-60	1.25	1.51	0.33	3.26	0.77	3.30	1.37	0.63
<b>La Loma</b>	0-30	1.04	1.16	0.50	1.16	0.65	5.37	0.50	0.31
	30-60	0.96	0.96	0.05	1.23	0.39	1.94	0.50	0.24
<b>La Laguna</b>	0-30	7.07	9.43	0.82	9.06	2.07	7.63	10.51	5.61
	30-60	3.28	3.15	0.42	4.13	1.03	4.59	3.62	1.64

Estos resultados coinciden en general con los de otros estudios. Honorato (2000) afirma que los suelos arcillosos, como los de El Bajío y La Laguna, son ricos en potasio y no presentan deficiencias de calcio, magnesio y sodio, pero que suelos arenosos como el de La Loma, el potasio es pobre. Cázares (1988) también menciona que es importante considerar que los diferentes tipos de suelo difieren en relación a su potencialidad para aportar potasio, por lo que las dosis recomendables para producir máximos rendimientos varían considerablemente. En este sentido, otros factores son importantes para la productividad: la época del año, el periodo de desarrollo de la planta y la variedad con la que se está trabajando.

El suelo arenosos de La Loma presentó deficiencias de materia orgánica,  $N^+$ ,  $Ca^{2+}$  y  $K^+$ ; este tipo de suelos favorece la lixiviación de nutrientes, por lo que en este caso se recomienda abonar con mayor cantidad de estiércol, realizar la siembra de diversos cultivos e incorporar diversas leguminosas como abono verde para incrementar la MO y los nutrientes deficientes en el suelo de esta zona. Sin embargo, la mayor producción de alfalfa se presentó en esta zona debido a una mayor densidad de siembra, buen manejo en cuanto al riego y principalmente a la siembra de la variedad “Peruana” de alfalfa, la cual es más productiva y mejor adaptada a las condiciones de esta zona.

### Absorción de sodio y porcentaje de sodio intercambiable

Así mismo, se encontró que la relación de adsorción de sodio fue mayor en La Laguna, mientras que el valor más bajo se detectó en la zona de La Loma (Cuadro 5). En todos los casos los valores de RAS (relación de absorción de sodio) y PSI (por ciento de sodio intercambiable) fueron muy bajos por lo que no se presentan problemas de dispersión o floculación del suelo que pudieran repercutir en el desarrollo de las plantas (Ortíz y Olguín, 1997).

**Cuadro 5.** Valores de relación de absorción de sodio (RAS) y porcentaje de sodio intercambiable (PSI) en los suelos de las zonas de estudio, a dos profundidades (cm).

Valores del Suelo	EL BAJÍO		LOMA		LAGUNA	
	0-30 (cm)	30-60 (cm)	0-30 (cm)	30-60 (cm)	0-30 (cm)	30-60 (cm)
<b>RAS</b>	0.5	2.5	0.8	1.0	3.0	2.0
<b>PSI</b>	0	4.0	0	0.5	5.0	2.5

### Análisis de la calidad del agua de riego en las tres zonas de estudio

Como se observa en el Cuadro 6, el pH del agua de la zona de El Bajío y La Loma es neutro y el de La Laguna ligeramente alcalino.

Para el factor salinidad, el agua proveniente del río Atoyac en El Bajío presentó la CE más baja; en La Loma y La Laguna la salinidad fue ligeramente más alta. En las tres zonas la CE presentó la categoría C2 (medianamente salinas) (USDA, 1954). En este caso se trata

de aguas con conductividad eléctrica que oscilan entre 0.250 y 0.545 dSm<sup>-1</sup>. Las aguas de esta clase, si se aplican sin un manejo adecuado, pueden ocasionar problemas de salinidad en el suelo, por lo cual se recomienda que su uso se lleve a cabo en suelos provistos de buen drenaje, o bien a través del uso de cultivos tolerantes a la salinidad, ya que es de esperar una reducción en los rendimientos de cultivos sensibles. (Ortíz y Olguín, 1997). El cultivo de alfalfa ha sido reportado como medianamente tolerante a la presencia de sales en el suelo, en un intervalo de 4 a 12 dSm<sup>-1</sup> bajo condiciones de riego (Richards, 1973)

Los resultados de RAS (Relación de Adsorción de Sodio) muestran valores muy bajos para las tres zonas, indicándonos que no existen problemas de sodicidad, las aguas de clase S1 pueden ser usadas con muy poco riesgo de que el suelo al que se aplique eleve su porcentaje de sodio intercambiable (Ortiz-Olguín, 1997) y considerando la salinidad, se clasifican, según el USDA (1954), como aguas C2S1, es decir, medianamente salinas y bajas en sodio.

**Cuadro 6.** Valores promedio de pH, conductividad eléctrica (CE), aniones y cationes de las aguas del río Atoyac (El Bajío), del pozo (La Loma) y del cuerpo de agua que corresponde a La Laguna.

Zona	pH	CE μScm <sup>-1</sup>	-----meq <sup>l</sup> -----								
			CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	K <sup>+</sup>	Ca <sup>+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>
<b>El Bajío</b>	6.99a	380a	T*	3.37a	0.41a	0.03a	0.05a	0.50a	0.82a	1.47a	1.04a
<b>LaLoma</b>	7.13b	521b	T	4.46b	0.54b	0.35b	0.58b	0.22b	1.51b	2.97b	1.45b
<b>La Laguna</b>	7.42b	545b	0.78	5.11b	0.38a	0.08c	0.68b	0.22b	2.15b	3.17c	1.50b

\*T= trazas

Letras diferentes representan diferencias significativas (P< 0.05)

El agua de La Laguna presentó los valores más altos en cuanto a pH, CE, cationes y aniones, excepto en el contenido del ion Cl<sup>-</sup> y NO<sub>3</sub><sup>-</sup> y fueron significativamente diferentes a los valores del agua de El Bajío que presentó los valores más bajos.

Los valores de los análisis químicos del agua de riego en las tres zonas indican que su calidad es buena con respecto a su salinidad efectiva, salinidad potencial y carbonato de sodio residual; ninguna de las tres zonas tiene problemas de toxicidad de cloro (Cuadro 7). En la presente investigación no se realizó el estudio de otros componentes del agua que

podrían influir en su calidad para ser utilizada como agua de riego, tales como contenido de boro, detergentes y metales pesados.

**Cuadro 7.** Análisis de la calidad del agua de riego en las tres zonas de estudio

Zonas	Salinidad Efectiva	Salinidad Potencial	NaCO <sub>3</sub> Residual	Cl <sup>-</sup>	Calidad del agua
	-----meq l <sup>-1</sup> -----				
<b>El Bajío</b>	1.530	0.385	1.06	0.410	Buena
<b>La Laguna</b>	0.866	0.039	0.575	0.381	Buena
<b>La Loma</b>	1.476	0.272	0.195	0.560	Buena

La forma de efectuar el riego por inundación, como lo hacen de manera tradicional los campesinos en los camellones de Santa Inés Tecuexcomac, parece ser una técnica adecuada para evitar la salinización del suelo. Bajo condiciones experimentales, Helalia y colaboradores (1996) encontraron que el riego por inundación es más efectivo en la lixiviación de las sales en el suelo que el riego por aspersión y también encontraron que debe haber una fertilización con nitrógeno y fósforo para aumentar la producción de la alfalfa.

En otros estudios, Rodríguez (1992) y Méndez-García y colaboradores (2000) reportaron la calidad del agua del río Atoyac, así como la de canales y pozos a lo largo de su cauce. Estos autores detectaron que estas aguas tienden a ser alcalinas, ricas en Na<sup>+</sup>, HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> y SO<sub>4</sub><sup>-</sup>, con valores que llegan a 3.80, 6.22, 2.87 mgL<sup>-1</sup>, respectivamente. También encontraron que el Mn<sup>2+</sup> es el único metal pesado que excede los límites máximos permisibles por la norma (NOM- NTE-032-91), y que el Cr y el Cd exceden dichos límites solo al final del trayecto monitoreado, después del punto donde se incorporan las aguas residuales de la ciudad de Puebla. Por esta razón se recomienda de manera urgente el control de desechos enviados al río para evitar la acumulación en el suelo de sales y metales pesados.

### **Características fenológicas y productividad de la alfalfa en las tres zonas de estudio**

En el Cuadro 2 se muestran los valores promedio por cuadro de las diversas características de la alfalfa después de 20 días de crecimiento, en la época de invierno.

**Número de individuos.** En La Loma se encontró el mayor número promedio de individuos por cuadro ( $0.0625 \text{ m}^2$ ), seguido por los promedios de La Laguna y El Bajío, con una diferencia de alrededor de 12 individuos menos por cuadro con respecto a La Loma.

**Número de folíolos.** En lo referente al número de hojas por cuadro, se obtuvieron diferencias estadísticas entre la alfalfa de El Bajío y la de La Laguna, aunque esta diferencia es muy pequeña, sólo de tres folíolos por planta.

**Altura de la planta.** Los valores promedio de altura de la planta fueron mayores y significativamente diferentes en La Loma y El Bajío, en relación con los valores de La Laguna (29% menor a las anteriores).

**Superficie de folíolos por planta.** En La Loma se registró el valor más alto seguido por el de El Bajío; ambos fueron significativamente diferentes al de La Laguna (1.9 y 1.2 veces mayores en La Loma y El Bajío respecto a La Laguna).

**Ancho de folíolos.** El ancho de los folíolos en La Loma tuvo un valor significativamente mayor con respecto al de El Bajío y La Laguna (1.3 y 1.4 veces, respectivamente).

**Biomasa fresca.** La alfalfa producida en La Loma también presentó el valor promedio más alto, el cual fue significativamente diferente de los valores de biomasa fresca en El Bajío y La Laguna, con 1.8 veces mayor a estas dos últimas zonas (Cuadro 3).

En La Loma se sembró por parte del campesino la variedad “peruana” la cual es reconocida como una de las variedades más productivas en esta localidad del estado de Tlaxcala, de acuerdo a las encuestas realizadas en este estudio (ver Capítulo I).

**Biomasa seca.** Aunque en La Loma se obtuvo el mayor promedio de biomasa seca y productividad de alfalfa (1.4 y 1.6 veces más que en El Bajío y en La Laguna) (Cuadro 8), el análisis estadístico indicó que esta diferencia no es significativa con respecto a las otras dos zonas. El valor más bajo de biomasa y productividad se presentó en La Laguna.

La biomasa fresca y seca fueron muy semejantes en los sitios sembrado en El Bajío y La Laguna; en ambos casos el campesino sembró la variedad “Atlixqueña” considerada por ellos como una variedad resistente a la sequía.

**Cuadro 8.** Valores promedio de algunas características de la alfalfa en las tres zonas de estudio a los 20 días de crecimiento.

Zonas	Número de individuos (0.0625m <sup>2</sup> )	No. de foliolos por planta*	Altura de planta* (cm)	Ancho de foliolos* (cm)	Superficie de foliolos por planta* (cm <sup>2</sup> )	Biomasa fresca (g)	Biomasa seca (g)	Productividad (g m <sup>-2</sup> día <sup>-1</sup> )
<b>El Bajío</b>	38.8 a	27.90 a	19.37 a	0.80 a	46.63 a	44.78 a	10.2 a	0.817
<b>La Laguna</b>	38.9 a	24.29 b	13.98 b	0.73 a	30.94 b	42.92 a	9.3 a	0.748
<b>La Loma</b>	51.3 a	27.66 ab	19.74 a	1.03 b	58.14 a	78.77 b	14.8 a	1.18

\*Los números representan el promedio de las plantas en 10 cuadros.

Letras diferentes representan diferencias significativas (P< 0.05)

Por medio de un análisis de regresión lineal múltiple (Draper y Smith, 1966), se obtuvo un modelo global con el objeto de conocer cuáles variables de la alfalfa ejercen mayor influencia en el peso seco de esta planta en las tres zonas de estudio.

El modelo matemático general se expresa de la siguiente manera:

$$y_i = a + b_1x_{1i} + b_2x_{2i} + \dots + b_px_{pi}$$

En donde:

y = variable dependiente

i = número de variables muestreadas

a = es la ordenada al origen

b = es la pendiente de la recta

x = variables independientes

$$BS \text{ estimada} = 0.476 + 0.043 (\text{ind})^* + 0.160 (\text{bf})^*$$

\* P< 0.05

$$R^2 = 0.938 \text{ y } P < 0.001$$

Donde: BS = biomasa seca estimada (g)

ind = número de individuos

bf = biomasa fresca (g)

R<sup>2</sup>= coeficiente de determinación

El análisis de regresión indicó que la biomasa fresca y el número de individuos presentaron una relación directa con respecto a la biomasa seca. Las pruebas de t (parciales) fueron significativas ( $P < 0.05$ ) para número de individuos y biomasa fresca; ambas variables son determinantes para la biomasa seca de la alfalfa, lo cual indica que siempre deberán estar en el modelo. En este modelo el coeficiente de correlación  $R^2$  presentó un valor alto de correlación entre las variables mencionadas (93.8%) con una significancia de  $P < 0.01$  y el modelo se aceptó con  $P < 0.0001$ .

La variedad de alfalfa “Peruana” también ha sido probada junto con otras variedades de alfalfa en Venezuela, mostrando valores altos de materia seca (17,184 kg MS/ha/año) superada solo por dos variedades mejoradas la alfalfa la WL y Lanfagene (Urbano y Dávila, 2003). Estos autores recomiendan hacer nuevos estudios en diferentes condiciones agroclimáticas con la finalidad de seleccionar las variedades que se adapten a nivel de localidad.

## CONCLUSIONES

Los suelos arenosos de La Loma presentaron deficiencias de materia orgánica, N,  $Ca^{2+}$  y  $K^+$ ; este tipo de suelos favorece la lixiviación de nutrimentos. Por el contrario, los suelos de la Laguna son extremadamente ricos en MO, N,  $Ca^{++}$  y  $Mg^{++}$  y se observa una mayor fertilización con estiércol. A pesar de esto, la productividad en esta zona tiende a ser la más baja, lo cual puede deberse a que en este sitio se presenta un nivel freático alto.

No hubo problemas de salinidad ni sodicidad en los suelos de las tres áreas de estudio. Con el fin de recomendar una mejor fertilización en las tres zonas, es necesario obtener mayor información sobre los efectos del mayor uso de estiércol u otros abonos orgánicos y de la combinación de éstos con fertilizantes químicos.

En cuanto a la calidad del agua para los tres sitios, se clasificaron como aguas C2S1, medianamente salinas y sin problemas de sodicidad, de buena calidad con base en los índices de salinidad efectiva, salinidad potencial, carbonato de sodio residual y presencia del ión cloro.

En cuanto a las características de la alfalfa, en la zona de La Loma se registró el mayor número de individuos de alfalfa y biomasa fresca por área, lo cual determinó que, a pesar de tener el suelo más arenoso y pobre, la productividad fuese mayor. En esta zona se

sembró la variedad “Peruana”, que esta bien adaptada a condiciones de baja fertilidad y es muy productiva.

En relación con la biomasa fresca de las plantas de alfalfa, el ancho de foliolos, la superficie de los mismos por individuo y altura de las plantas, los valores de todas ellas fueron mayores en la zona de La Loma, aunque la biomasa seca no resultó significativamente diferentes comparada con la de las zonas de El Bajío y La Laguna.

De acuerdo con el análisis de regresión, las variables que tienen mayor influencia y significancia sobre la biomasa seca fueron: la biomasa fresca y el número de individuos por área, lo que muestra una relación directa con la variable dependiente (biomasa seca).

## REFERENCIAS

- Aguilera, A.M.y Martínez, E.R. 1986. *Relaciones agua, suelo, planta, atmósfera*. 2ª ed., Universidad Autónoma de Chapingo. Estado de México.
- Bauder, J.W., Jacobsen, J.S.y Lanier, W.T. 1992. Alfalfa emergence and survival responses to irrigation water quality and soil series. *Soil Science Society of American Journal* 56: 890-896.
- Buerkert, A., Cassman, K.G. De la Piedra, R. y Munns,D.N. 1990. Soil acidity and liming effects on stand, nodulation, and yield of common bean. *Agronomy Journal* 82:749-754.
- Cázares, G.L.R. 1988. Evaluación del estado nutrimental de los alfalfares del Valle de México. Tesis de Maestría. Colegio de Posgraduados, Montecillos, Estado de México.
- CSTPA (Council on Soil Testing and Plant Analysis).1980. *Handbook on References Methods for Soil Testing*. Athens, Georgia.
- Draper, N.R. y Smith, H. 1966. *Applied Regression Analysis*. John Wiley and Sons. Nueva York.
- Fassbender, W.H. 1975. *Química de suelos con énfasis en los suelos de América Latina*. Editorial IICA, Turrialba.
- Hanson, C.H. 1972. *Alfalfa, Science and Technology*. No. 15. Series Agronomy. American Society of Agronomy. Madison, Wisconsin.
- Honorato, R. 2000. *Manual de edafología*. 4ª ed. Alfaomega y Ediciones Universidad Católica de Chile, México, D.F.
- Helaila, A.M., Taher, C.A., y Nabulsi, Y.A. 1996. The influence of irrigation water salinity and fertilizer management on the yield of alfalfa (*Medicago sativa* L.). *Agricultural Water Management* 31: 105-114.
- Henning, C.J. y Nelson, J. 1993. Alfalfa. [www.nuetencion.missouri.edu/explore/copy.htm](http://www.nuetencion.missouri.edu/explore/copy.htm).
- Hussain, G., Jaloud, A.A., Shanmary S.T. y Karimulla, S. 1995. Effect of saline irrigation on the biomass yield on the protein, nitrogen, phosphorus, and potassium

- composition of alfalfa in a pot experiment. *Journal of Plant Nutrition* 18: 2389-2488.
- INEGI. 1984. *Manual de estadísticas del Estado de Tlaxcala*. Instituto de Estadística, Geografía e Informática, Secretaría de Programación y Presupuesto. México, D.F..
- Kim, C.H. y Lee, H.W. 1996. Effect of phosphate fertilizer application rate on growth, crude protein content and nitrogen fixation capacity of alfalfa (*Medicago sativa* L.) in the sowing year. *Journal of the Korean Society of Grassland Science* 16: 113-120.
- Larney, F.J.y Jansen, H.H. 1996. Restoration of productivity to a desurfaced soil with livestock manure, crop residue, and fertilizer amendments. *Agronomy Journal* 88: 921-927
- MacAdam, J.M., Drost, D. T., Dudley, L.M. y Soltani, N. 1997. Shoot growth, plant tissue elemental composition, and soil salinity following irrigation of alfalfa and tall fescue with high-sulfate waters. *Journal of Plant Nutrition* 20: 1137-1153.
- Méndez, I. 1981. *Conceptos elementales del muestreo con énfasis en la determinación práctica del tamaño de muestra*. Comunicación Técnica Vol. 3. Serie azul; Monografías, No 25. Universidad Nacional Autónoma de México. México, D.F.
- Méndez-García, T., Rodríguez-Domínguez, L.y Palacios-Mayorga, S. 2000. Impacto del riego con aguas contaminadas, evaluado a través de la presencia de metales pesados en suelos. *Terra* 18: 277-288.
- Mohamed, N.A.y Ahmed, M.K. 1995. Influence of salinity on chemical composition of some alfalfa cultivars (*Medicago sativa* L.). *Annals of Agricultural Science* 33: 599-612.
- NOM-CCA-032-ECO/91. Diario Oficial de la Federación, 24 de Septiembre de 1991.
- Ortiz-Olguín, M. 1997. *La calidad de las aguas de riego*. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, Estado de México.
- Pingnenborg, J.W.M. y Lie, T.A. 1990. Effect of lime-pelleting on the nodulation of lucerne (*Medicago sativa* L.) in acid soil: a comparative study carried out in the field, in pots, and in rhizotrons. *Plant and Soil* 121:225-234.
- Porta, J., López-Acevedo, R.M. y Roquero, C. 1994. *Edafología para la agricultura y el medio ambiente*. Ediciones Mundi-Prensa. México, D.F.

- Ramis, V.M. y Terreros, C.J. 1991. *Abonos y estiércoles*. Editorial Acribia, S.A. Zaragoza.
- Reid, W.S. 1996. Influence of lime and calcium:magnesium ratio on alfalfa and birdsfoot trefoil yields. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 27: 5-8.
- Richards, A.L. 1973. *Diagnóstico y rehabilitación de suelos salinos y sódicos*. Editorial Limusa, México.
- Rhykerd, L.C. y Overdahl, J.C. 1972. *Nutrition and Fertilizer Use*. In: C.H. Hanson (ed.). *Alfalfa: Science and Technology*. pp.437 - 467. American Society of Agronomy. Wisconsin.
- Robles, S.R. 1983. *Cultivo de la alfalfa en México*. Ed. Limusa. México, D.F.
- Rodríguez, D.L. 1992. Evaluación de los grados de contaminación del río Atoyac por (Pb, Cr, Co, Cd, Ni, Fe, Cu, Mn, y Zn), surfactantes, boro, grasas y aceites en el transecto Chiautla-Atlixco, estado de Puebla. Tesis de Licenciatura en Biología. UNAM-FES-Zaragoza. México, D.F. pp. 121.
- Rumbaugh, M.D., Johnson, D.A. y Pendery, B.M. 1993. Germination inhibition of alfalfa by two -component salt mixtures. *Crop Science* 33: 1046-1050.
- Salisbury, F.B. y Ross, C.W. 1992. *Plant Physiology*. 4<sup>a</sup> ed. Wadsworth Publishing Company. Belmont, California.
- Su, C.M. y Evans, L.J. 1996. Soil solution chemistry and alfalfa responses to CaCO<sub>3</sub> and MgCO<sub>3</sub> on an acidic Gleysol. *Canadian Journal of Soil Science* 76: 41-47.
- Tisdale, L.S. y Nelson, L.W. 1977. *Fertilidad de los suelos*. pp.614-621. Montaner y Simón, S.A. Barcelona.
- Urbano, D y Dávila. C. 2003. Evaluación del rendimiento y composición química de once variedades de alfalfa (*Medicago sativa*) bajo corte en la zona alta del estado Mérida, Venezuela. *Revista de la Facultad Agronomía* 20: 97-107
- USDA (United States Department of Agricultura). 1954. *Diagnosis and Improvement of Saline and Alkali Soils*. U.S. Salinity Laboratory Staff. Handbook 60 (Traducción del INIA, SAG. México, D.F. 1965).
- Vázquez, A.A. 1996. Guía para interpretar el análisis químico del suelo y agua. Univesidad Autónoma de Chapingo. Texcoco, Estado de México.
- Xu, Y.L. y Yu, S.W. 1991. Salt induced proteins in alfalfa callus. *Acta Phytophysiologica Sinica* 17: 395-402.

## ANEXO

### Fórmulas para calcular Índices de salinidad

#### 1) Salinidad efectiva (SE)

La salinidad efectiva se calcula con alguna de las siguientes fórmulas y bajo las condiciones que se indican:

a) Si  $Ca > (CO_3 + HCO_3 + SO_4)$ , entonces:

$$SE = \text{Suma de cationes} - (CO_3 + HCO_3 + SO_4)$$

b) Si  $Ca < (CO_3 + HCO_3 + SO_4)$  pero  $Ca > (CO_3 + HCO_3)$ , entonces:

$$SE = \text{Suma de cationes} - Ca$$

c) Si  $Ca < (CO_3 + HCO_3)$  pero  $(Ca + Mg) > (CO_3 + HCO_3)$ , entonces:

$$SE = \text{Suma de cationes} - (CO_3 + HCO_3)$$

d) Si  $(Ca + Mg) < (CO_3 + HCO_3)$ , entonces:

$$SE = \text{Suma de cationes} - (Ca + Mg)$$

#### 2) Salinidad potencial (SP)

Se calcula de la siguiente manera:

$$SP = Cl + 1/2 SO_4$$

#### 3) Efecto probable del sodio

Para estimar este efecto se toman en cuenta los siguientes índices:

a) **Relación de adsorción de sodio (RAS)**

$$RAS = Na / (Ca + Mg) / 2$$

b) **Carbonato de sodio residual (CSR)**

$$CSR = (CO_3 + HCO_3) - (Ca + Mg)$$

c) **Porcentaje de sodio posible (PSP)**

$$PSP = Na / SE (100)$$

## **CAPÍTULO IV**

### **ALLELOPATHIC POTENTIAL OF BEANS (*Phaseolus spp.*) AND OTHER CROPS**

(Publicado en Allelopathy Journal 15 (2): 197-210, 2005)

VERÓNICA NAVA-RODRÍGUEZ, BLANCA ESTELA HERNÁNDEZ-BAUTISTA,  
ROCÍO CRUZ-ORTEGA, and ANA LUISA ANAYA

## CAPÍTULO IV

### ALLELOPATHIC POTENTIAL OF BEANS (*Phaseolus* spp.) AND OTHER CROPS

(Publicado en Allelopathy Journal 15 (2): 197-210, 2005)

VERÓNICA NAVA-RODRÍGUEZ<sup>2</sup>, BLANCA ESTELA HERNÁNDEZ-BAUTISTA<sup>2</sup>,  
ROCÍO CRUZ-ORTEGA<sup>2</sup>, and ANA LUISA ANAYA<sup>2</sup>.

<sup>1</sup>Universidad Autónoma Metropolitana Xochimilco. Departamento de Producción Agrícola y Animal. Calzada del Hueso 1100, Villa Quietud, México, D.F.

<sup>2</sup>Instituto de Ecología, UNAM. Circuito Exterior, Ciudad Universitaria. 04510, México, D.F.

#### ABSTRACT

The *in vitro* effects of aqueous leachates from fresh and dry, flowering and vegetative stage of some *Phaseolus vulgaris* and *P. coccineus* varieties, alfalfa, faba bean, vetch, maize, squash, and weed species were evaluated on the same bean varieties, maize, squash, amaranth, barnyardgrass, morninglory, and purslane root growth, as well as on the growth of two *Rhizobium leguminosarum* biovar. *phaseoli* strains (CPMex1 and Tlaxcala). Most of the plants were collected in an agricultural drained field (“Camellón”) in Tlaxcala, Mexico, where farmers do not use pesticides. Maize, beans, squash, alfalfa, faba-bean, and vetch are intercropped or rotated in a traditional way. Significant effects of leachates from fresh (10%) vegetative and flowering cultivated plants and weeds were predominantly stimulatory. Among the species tested alfalfa and pinto bean leachates prepared from fresh shoot material were the most stimulatory (29% to 67% and 43% to 75.5%, respectively). Aqueous leachates from fresh and dry (1%) cultivated legumes (vegetative and flowering) inhibited weed growth in ranges from 20% to 43% for fresh material, and 26% to 84% for dry material. In contrast, the aqueous leachates prepared from the dry shoot of most of the plants tested resulted in inhibition of root growth of the test crops (29% to 58%), except to maize. Almost all of the crop leachates resulted stimulatory to the growth of both strains (1.3 mm to 3.6 mm), except those of *P. coccineus* var. morado that were inhibitory (2.5 mm to 3.6 mm). Leachates from fresh shoot material of the weeds *Simsia amplexicaulis* and *Tradescantia crassifolia*

---

<sup>2</sup>\*Correspondence author

significantly inhibited the growth of CPMex1 strain (6.6 mm to 6.8 mm, respectively) while leachates prepared from fresh root material inhibited the growth of the Tlaxcala strain (5.2 mm to 5.5 mm, respectively). In preliminary separation and identification tests using thin layer chromatography, phenolics were detected in dry shoot material of vegetative alfalfa, pinto bean, and vetch, and flowering faba bean. Results suggest the role of these compounds in the allelopathic effects of these leguminous aqueous leachates.

Key words. Allelopathy, aqueous leachates, crop legumes, maize, *Rhizobium*, phenolics, weeds.

## INTRODUCTION

Some species of cultivated plants used as interplanted, rotated or continuously planted crops produce secondary metabolites that may inhibit or stimulate other plants and microorganisms (28, 34). Plant residues, leachates, and root exudates are the main source of allelochemicals. It has been established that allelopathy could be used to increase crop production, reduce production expenses, and diminish the current reliance on synthetic agrochemicals that degrade the quality of the environment (20, 28, 39). Putnam (33) asserted that there are two major challenges to agricultural researchers: to minimize the negative impact of allelopathy on crop growth and yield, and to exploit allelopathic mechanisms as additional pest control or crop growth regulation strategies.

There are extensive studies on the allelopathic effects of legume crops. The allelopathic effects of forage legumes in temperate zones such as alfalfa, vetch, and clover have been studied by Chou (10, 11) and Chou et al. (12). In Mexico, Caamal-Maldonado et al. (8) carried out a 5-year study to evaluate the allelopathic potential of four legumes (velvet-bean, jack-bean, jumbie-bean, and wild tamarind) and their effects as cover crops and green manures on weed growth and corn yield. All treatments reduced weed biomass and improved corn yield. Several authors reported the allelopathic effects of different legumes (10, 11, 24, 38), including grain legume crops, such as soya (35), and mungbean (38). Alfalfa has been reported to be both an autotoxic and heterotoxic species (29, 30, 31). Reestablishment of alfalfa immediately after a previous alfalfa crop has been removed usually results in poor production due to autotoxicity, and this response has been reported for several other forage crops (13, 27).

More than 1,500 legume species and 90% of the wild *Phaseolus* species are found in Mexico. Four of the 34 *Phaseolus* species growing in the country are extensively cultivated: *P. acutifolius*, *P. coccineus*, *P. lunatus*, and *P. vulgaris* (36). However, there are only a few studies on the allelopathic effects of different bean cultivars on crop and weed growth.

The traditional agroecosystems called “*camellones*” in Tlaxcala, Mexico, are crop fields surrounded by water channels, trees, and shrubs. The agricultural practices in these agroecosystems are based on the combination of maize with other crops, either as mixed crops, alternate row crops, or in rotation. Alfalfa (*Medicago sativa* L.), beans (*P. vulgaris* L. and *P. coccineus* L.), faba bean (*Vicia faba* L.), and vetch (*Vicia sativa* L.) are the most important crop legumes cultivated by local people. The legumes are grown in monocultures or polycultures in combination mainly with maize, squash, bottle gourd, amaranth, spices, green tomato, chili, and oat. Legumes are also rotated with these crops (2). Anaya et al. (1) studied the potential phytotoxicity of selected crops and weeds in the *camellones*, and found that aqueous leachates of *P. vulgaris* cv “Canario” were phytotoxic to some local weeds.

To evaluate the allelopathic interactions between traditional crops grown in *camellones*, the *in vitro* effect of aqueous leachates of several bean varieties (*Phaseolus vulgaris* and *P. coccineus*), faba bean, alfalfa, maize, and vetch on the root growth of selected crops, weeds, and two strains of *R. leguminosarum* was evaluated. In addition, given the importance of phenolic compounds as allelochemicals, qualitative tests to detect these compounds in some aqueous extracts were performed.

## MATERIALS AND METHODS

### Plant Collection

Vegetative and flowering plants of alfalfa, faba bean, vetch, maize, and squash plants were collected from some crop fields named *camellones* at Santa Ines Tecuexcomac, an irrigated agricultural region in the Southwest of the state of Tlaxcala, Mexico, from April to September 1997 (Table 1). Only those *camellones* where people used traditional techniques without the use of pesticides were chosen for plant collection in order to assured these plants were free of pesticides. The climate is temperate subhumid with a rainfall period

from May to October (annual average of 754 mm). Other bean species and varieties were also collected from an experimental field (without pesticides) at the Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) campus in Mexico City (Table 1). A subsample of the material collected was dried at room temperature. Both fresh and dry material was used to prepare aqueous leachates used in the bioassays, whereas only dry plant material was used in the chemical analysis.

**Table 1.** Crop and weed species tested for their allelopathic potential, and plant species used in bioassays with aqueous leachates of allelopathic species

Plant species tested for their allelopathic potential			Plant species used in bioassays with aqueous leachates			
Plant Type	Species	Varieties/Common Names	Plant Type	SPECIES	Varieties/Common Names/Strains	
Legumes	<i>Phaseolus vulgaris</i> L.	Frijol Pinto	Legumes	<i>Phaseolus vulgaris</i> L.	Frijol Pinto	
	<i>P. vulgaris</i>	Canario		<i>P. vulgaris</i>	Canario	
	<i>P. vulgaris</i>	Bayo		<i>P. vulgaris</i>	Bayo	
	<i>P. coccineus</i> L.	Morado		<i>P. coccineus</i> L.	Morado	
	<i>P. coccineus</i>	Enredador		<i>P. coccineus</i>	Enredador	
	<i>Medicago sativa</i> L.	Peruana		Other crops	<i>Zea mays</i> L.	Maiz Pinto
	<i>Vicia faba</i> L.	Haba			<i>Cucurbita pepo</i> L.	Italiana
	<i>V. sativa</i> L.	Veza			<i>Amaranthus hypochondriacus</i> L.	Amaranto
Other crops	<i>Zea mays</i> L.	Maiz Pinto	Weeds	<i>Echinochloa crus-galli</i> (L.) P. Beauv.	Barnyardgrass	
	<i>Cucurbita pepo</i> L.	Italiana		<i>Ipomoea purpurea</i> (L.) Roth.	Morningglory	
Weeds	<i>Amaranthus hybridus</i> L.	-	Bacteria	<i>Portulaca oleracea</i> L.	Purslane	
	<i>Cynodon dactylon</i> (L.) Pers.	-		<i>Rhizobium leguminosarum</i> bv <i>phaseoli</i> Frank	CPMEX1	
	<i>Chenopodium album</i> L.	-		<i>R. leguminosarum</i> bv <i>phaseoli</i> Frank	Tlaxcala	
	<i>Galinsoga parviflora</i> Cav.	-		-	-	
	<i>Ipomea purpurea</i> (L.) Roth	-		-	-	
	<i>Oxalis</i> sp.	-		-	-	
	<i>Portulaca oleracea</i> L.	Verdolaga		-	-	
	<i>Simsia amplexicaulis</i> (Cav.) Pers.	-		-	-	
	<i>Tradescantia crassiflora</i> Cav.	-		-	-	

## **Leachates Preparation**

Twenty g of fresh material, or 2 g of dry material, were soaked for 3 h in 100 ml of distilled water. The leachates were filtered through Whatman No. 4 filter paper and a Millipore membrane (0.45  $\mu\text{m}$ ). To avoid the possibility of osmotic stress, the osmotic pressure of the leachates was measured with a freezing-point osmometer (Osmette A. Precision System Inc.) and pressures ranged from 18 to 24 mosm/L.

## **Leachates Bioassays**

Aqueous leachates were mixed (1:1) with 1.5% pure agar to obtain a 10% w/v for fresh test solution and 1% w/v for dry test solution; pure agar (0.75%) was used as the control. Bioassays were conducted in 6 or 9-cm petri dishes depending on the seed size of the test species. Ten seeds of each test species (Table 1) were sown directly on the agar. Petri dishes were kept in the dark at 27°C. Radicle growth length was measured after 24 h for amaranth; and after 48 h for squash, beans, maize, barnyardgrass, morninglory, and purslane (only the length of the longest radicle of maize was measured). The experiment was arranged as completely randomized block design with four replications. Data were analyzed using ANOVA and means were separated using Tukey's tests.

Amaranth, bean species, squash, and maize seeds were purchased at a local market. Barnyardgrass, morninglory, and purslane seeds were obtained from Valley Seed Service, USA.

Aqueous leachates from species in Table 1 (left) were tested on the radicle growth of bioassays species (Table 1 -right). In addition the effect of crop leachates, as well as weed leachates, on *Rhizobium* growth were determined. Percentage of inhibition or stimulation were measured respect to control.

## ***Rhizobium* Bioassays**

Aqueous leachates from fresh and dry, vegetative (3-month old plants, except alfalfa) and flowering legumes, maize, squash, and weeds were tested on the growth of two *R. leguminosarum* bv. *phaseoli* strains: Tlaxcala and CPMex1. CP Mex1 *Rhizobium* strain was obtained from the Soil Microbiology Laboratory from Colegio de Posgraduados, Montecillos, Estado de México. The Tlaxcala strain was obtained from canario bean root nodules collected in a *camellón* of Tlaxcala. Paper-disk bioassays, commonly used to test

effects of pure compounds on the growth of microorganisms (26), were performed. Both *Rhizobium* strains were grown in yeast extract-mannitol-agar growth medium (YMAE). Three samples of *Rhizobium* from the growth medium were placed in an Erlenmeyer flask with 10-ml of sterile distilled water and shaken at 28<sup>0</sup>C in the dark for 24 h. The *Rhizobium* suspension (0.2 ml) was added to a 9 cm petri dish with 20 ml of YMAE medium. Pairs of filter paper concentration-disks (Whatman 4, 1 cm in diameter) were saturated with 1% (dry plant material) or 10% (fresh plant material) aqueous leachates and placed on the inoculated petri dishes. Filter paper disks with sterile distilled water were used in the controls. Petri dishes were incubated at 28<sup>0</sup>C in the dark for 24 h. Qualitative evaluation of bioactivity of the leachates on *Rhizobium* was determined by the agar diffusion method (26). Halos of inhibition or stimulation of *Rhizobium* colonies growth around the concentration disks were measured using a stereo-microscope and a micrometer eyepiece. Halos were considered to represent stimulation when a larger density of bacteria around the disks was observed with respect to control. Each bioassay was conducted by triplicate.

### **Preliminary chemical analysis**

Phenolic content in the dry material of the tested legumes was detected using chromogenic reactions with different chemical reagents according to Domínguez (14), followed by detection in hydrolyzed dry plant material and lyophilized aqueous leachates using thin layer chromatography (TLC).

Based on the preliminary results of the chromogenic reaction (data not presented) and the inhibitory effect of aqueous leachates on weed growth, dry shoot material of vegetative alfalfa, pinto bean, and vetch, and dry shoot material of flowering faba bean were selected for further study. This material was subjected to acid hydrolysis (21) by placing 1 g of dry plant material in 10 ml of 2M HCl and heated at 96° C for 30 min. After cooling 10 ml of ether were added and the extract was vacuum evaporated. The resulting residue was dissolved in a small volume of ethanol (95%) and applied to TLC plates.

Aqueous leachates (1%) of the same plant material were lyophilized at -60° C and 25 microns of vacuum in a freeze dryer LABCONCO. Residues were dissolved in a small volume of distilled water and applied to TLC plates.

TLC was performed using Silicagel 60 F<sub>254</sub> plates, and chloroform-methanol (90:10) was used as eluent. TLC plates were revealed with Folin reagent and observed under visible and UV light (21). To identify phenolic compounds, R<sub>f</sub> of the chromatographic spots (cm) were compared with those of pure phenolic standards: benzoic, *p*-cumaric, ferulic, gallic, and vanillic acids, scopoletine, phloroglucinol and umbelliferone.

## RESULTS

### **Effects of legume leachates on beans, maize and squash radicle growth**

A large range of effects and responses was found in the different bioassays performed. Tables show only results that have a statistical significance. In general, leachates prepared with fresh plant material stimulated root growth while those prepared with dry material were inhibitory (Table 2). Based on root growth, leachates from fresh Pinto bean shoots, Morado bean roots, and alfalfa shoots were the most stimulatory treatments. On the other hand, leachate from fresh vegetative (V) Pinto bean shoots was significantly autotoxic, and that of flowering (F) Pinto bean was highly auto-stimulatory. Leachate of the fresh shoots of (F) Pinto bean inhibited the root growth of squash. Enredador bean was the most stimulated test species by the leachates of fresh plant material in vegetative stage. Maize was the most stimulated test species by the leachate of fresh plant material in flowering stage. Except those of faba-bean and vetch, all leachates of dry plant material of cultivated legumes were significantly stimulatory on the root growth of maize.

### **Effects of maize and squash leachates on the root growth of cultivated beans**

The effects of leachates prepared from fresh maize and squash produced stimulatory effects on the root growth of beans, of these leachates prepared, those from fresh maize roots were more stimulating. Leachates from dry aerial part of maize and squash caused no significant effects on the bean species tested. Vegetative dry maize leachates significantly inhibited Canario and Enredador beans, while (V) dry squash leachate inhibited Morado bean and (F) dry squash leachate stimulated Bayo bean (Table 2).

**Table 2.** Effects of aqueous leachates of fresh and dry, vegetative (V) and flowering (F) beans, and other cultivated legumes on the root growth (% compared to control) of different cultivated species.

AQUEOUS LEACHATES	TEST PLANTS													
	<i>P. vulgaris</i>						<i>P. coccineus</i>				Maize		Squash	
	Canario		Pinto		Bayo		Morado		Enredador		V	F	V	F
Fresh legumes	V	F	V	F	V	F	V	F	V	F	V	F	V	F
<i>Phaseolus vulgaris</i>														
Canario (shoots)	-	-	-	-38.5*	-	-	-	-	-	-	-	-38.1*	-	-
Canario (roots)	-	-	-59.4*	-84.9*	-31.0*	-	-	-	-34.4*	-	-	-	-85.5*	-
Pinto (shoots)	-	-42.7*	42.7*	-75.5*	-	-50.0*	-	-	-44.9*	-	-	-43.2*	-	33.9*
Pinto (roots)	-	-84.9*	-	-	-32.5*	-	-	-	-44.0*	-	-	-	-	-
Bayo (shoots)	-	-	-	-59.3*	-	-	-	-	-52.9*	-	-	-	-	-
Bayo (roots)	-	-	-	-	-	-	-	-	-82.5*	-	-	-	-	-
<i>P. coccineus</i>														
Morado (shoots)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-57.7*	-	-
Morado (roots)	-	-	-59.5*	-	-40.0*	-35.4*	-	-	-	-	-	-	-	-
Enredador (shoots)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-39.0*	-	-
Enredador (roots)	-	-	-46.1*	-	-39.1*	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Alfalfa (shoots)	-	-	-	-66.7*	-	-39.3*	-44.1*	-52.7*	-29.0*	-	-	-	-	-38.0*
Faba-bean (shoots)	-	-	-	-	-	-59.7*	-	-	-	-	-	-	-	-
Vetch (shoots)	-	-	-	-	-42.8*	-	-	-	-	-	-	-33.9*	-	-
<b>Dry legumes</b>														
<i>P. vulgaris</i>														
Canario (shoots)	-	-	-	-	-	-	43.2*	-	-	-	-45.7*	-	-	-
Pinto (shoots)	-	37.0*	29.7*	-58.5*	-	29.8*	48.1*	-	-	-	-61.3*	-30.7*	-	-
Bayo (shoots)	35.2*	-	-	-	-	-	-	-	41.9*	-	-63.4*	-	39.2*	39.2*
<i>P. coccineus</i>														
Morado (shoots)	33.0*	43.2*	-	-	43.3*	-	-	-	-	-	-42.8*	-	37.5*	41.9*
Enredador (shoots)	-	55.6*	-	-	-	-	-	-	-	-	-43.9*	-	-	-30.9*
Alfalfa (shoots)	-	-29.5*	-	-	-	-	29.0*	-	-	-	-29.7*	-29.7*	-	-
Faba-bean (shoots)	48.9*	-	37.8*	-	29.4*	-	-	-	-	50.8*	34.1*	-	-36.7*	-
Vetch (shoots)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	38.1*	28.0*	-	-

Negative numbers correspond to stimulations; \*P>0.05

### Effects of cultivated legume leachates on weed radicle growth

Leachates from fresh shoot inhibited more than those prepared from fresh roots. Cultivated legumes at (V) stage (fresh and dry) were more inhibitory than those from (F) stage on morninglory and purslane radicle growth. Barnyardgrass was the most inhibited species. All leachates from dry (V) cultivated legumes had the strongest inhibitory effect on the root growth of weeds. Purslane was significantly stimulated by the leachates of dry (F) Bayo, Morado and Enredador beans. Fresh (V) and (F) faba-bean leachates had inhibitory effects on barnyardgrass and purslane (Table 3).

**Table 3.** Effects of aqueous leachates of the shoots and roots of fresh and dry, vegetative (V) and flowering (F), cultivated legumes on the root growth of some weeds.

AQUEOUS LEACHATES	TEST PLANTS							
	Amaranth		Barnyardgrass		Morninglory		Purslane	
Fresh legumes	V	F	V	F	V	F	V	F
<i>Phaseolus vulgaris:</i>								
Canario (shoots).	-	-	32.7*	24.8*	36.3*	-	25.0*	-
Canario (roots)	-29.9*	-	-	-	-	-	25.7*	-
Pinto (shoots)	-	-	42.9*	34.9*	-	-	35.1*	23.8*
Pinto (roots)	-	-	-	-	-	-	-	-
Bayo (shoots)	-	29.3*	34.0*	-	-	19.8*	29.7*	-
Bayo (roots)	-	-	-	-	21.4*	-	-	-
<i>P. coccineus:</i>								
Morado (shoots)	-	-	47.2*	32.6*	21.1*	-	-	-
Morado (roots)	-	-	-	-	-	-	-	-
Enredador (shoots)	-	-	32.3*	28.7*	-	-23.3*	-	-
Enredador (roots)	-	-	-	-	-	-	-	-
Alfalfa (shoots)	-	-	35.3*	25.0*	-	-	-	-
Faba-bean (shoots)	29.9*	-29.9*	41.3*	25.3*	24.0*	-	34.4*	34.6*
Vetch (shoots)	-	-57.7*	23.2*	43.2*	-	-63.8*	31.0*	-20.3*
<b>Dry legumes</b>								
<i>P. vulgaris:</i>								
Canario (shoots)	68.5*	56.2*	52.6*	52.6*	35.2*	-	51.6*	51.6*
Pinto (shoots)	76.4*	-	49.7*	-	56.3*	-	46.3*	-
Bayo (shoots)	65.7*	-	34.1*	-	43.7*	-	39.7*	-30.4*
<i>P. coccineus:</i>								
Morado (shoots)	42.3*	49.4*	47.2*	42.6*	38.0*	-	38.4*	-37.9*
Enredador (shoots)	52.8*	51.1*	70.8*	32.3*	25.7*	29.6*	38.8*	-39.4*
Alfalfa (shoots)	35.1*	-	40.6*	47.9*	26.0*	61.3*	42.9*	49.5*
Faba-bean (shoots)	76.4*	41.0*	63.3*	59.6*	-23.9*	26.3*	48.5*	64.7*
Vetch (shoots)	35.1*	38.3*	59.4*	55.3*	38.3*	63.7*	57.2*	84.0*

Negative numbers correspond to stimulations; \*P > 0.05

### Effects of maize and squash leacheates on the root growth of cultivated beans

The effect of leacheates prepared from fresh maize and squash produced stimulatory effects on the root growth of beans; of these leacheates, those from fresh maize roots were the most stimulating. Leachates from the dry aerial part of maize and squash caused no significant effects on the bean species tested. Vegetative dry maize leachates significantly inhibited Canario and Enredador beans, while (V) dry squash inhibited Morado bean and (F) dry squash leachate stimulated bayo bean (Table 4).

**Table 4.** Effects of aqueous leachates of the shoots and roots of fresh and dry, vegetative (V) and flowering (F), maize and squash on the root growth of some cultivated beans.

AQUEOUS LEACHATES	TEST PLANTS							
	<i>P. vulgaris</i>						<i>P. coccineus</i>	
	Canario		Pinto		Bayo		Morado	Enredador
Fresh crops	V	F	V	F	V	F	V	V
Maize (shoots)	-	-	-	-30.2*	-	-	-	-
Maize (root)	-	-33.5*	-65.9*	-34*	-54.7*	-	-	-45.3*
Maize (flowers)	-	-	-	-34.5*	-	-	-	-
Squash (shoots)	-	-	-	-29.8*	-	-	-	-33.2*
Squash (roots)	-	-29.9*	-	-	-	-	-44.7*	-39.4*
Squash (flowers)	-	-45.5*	-	-	-	-	-	-
<b>Dry crops-</b>								
Maize (shoots)	37.1*	-	-	-	-	-	-	48.6*
Squash (shoots)	-	-	-	-	-	-32.3*	37.5*	-

Negative numbers correspond to stimulations; \*P > 0.05

### Effects of weed leachates on bean radicle growth

In these bioassays Pinto and Canario beans were significantly stimulated by the root leachates of fresh amaranth and shoot leachates of fresh morninglory. Pinto bean radicle growth was also stimulated by fresh *Simsia amplexicaulis* and *Tradescantia crassifolia* root leachates, and the latter species also stimulated the root growth of Canario and Bayo beans. Leachates from the fresh and dry aerial parts of *Simsia amplexicaulis* significantly stimulated Morado bean root growth. The only significant inhibitory effect in this bioassay was caused by the leachate from the fresh roots of purslane on Bayo root growth (Table 5).

**Table 5.** Effects of aqueous leachates of the shoots and roots of fresh and dry vegetative weeds on the root growth of some beans.

TEST PLANTS	<i>P.vulgaris</i>	<i>P.vulgaris</i>	<i>P.vulgaris</i>	<i>P.coccineus</i>
AQUEOUS LEACHATES	canario	pinto	bayo	morado
<b>Fresh weeds:</b>				
<i>A. hybridus</i> (roots)	-31.5*	-32.9*	-	-
<i>I. purpurea</i> (shoots)	-33.1*	-30.3*	-	-
<i>S. amplexicaulis</i> (shoots)	-	-	-	-32.0*
<i>S. amplexicaulis</i> (roots)	-	-39.0*	-	-
<i>P. oleraceae</i> (roots)	-	-	29.9*	-
<i>T. crassifolia</i> (roots)	-35.2*	-43.1*	-31.7*	-
<b>Dry weeds:</b>				
<i>C. dactylon</i> (shoots)	-	-	-43.7*	-
<i>S. amplexicaulis</i> (shoots)	-	-	-	-34.7*

Negative numbers correspond to stimulations. \*P > 0.05

### Effects of the leachates of crops and weeds on Rhizobium

Only the effects of aqueous leachates from those fresh crops and weeds that clearly stimulated or inhibited *Rhizobium* growth are shown in Table 6. In general, leachates from crops stimulated the growth of both *Rhizobium* strains, except those from *P. coccineus* var. Morado. In spite of the specificity of legume-*Rhizobium* interactions and that both *Rhizobium* strains were isolated from *P. vulgaris* varieties, root leachates of *P. coccineus* (var. Enredador), faba-bean and maize stimulated the growth of both strains. The leachates of the (F) aerial parts of *Simsia amplexicaulis* and *Tradescantia crassifolia* inhibited the growth of the CPMEX1 strain. On the other hand, leachates from the roots of these two (F) weed species significantly inhibited the growth of the Tlaxcala strain.

**Table 6.** Size of inhibition or (stimulation) halo (mm) of the growth of two strains of *Rhizobium leguminosarum* bv. *phaseoli* around paper sensidics with aqueous leachates of some fresh legume-crops and weeds.

PLANTS LEACHATES	STRAINS	
	CP Mex1	Tlaxcala
<b>Crops:</b>		
Alfalfa (F) (S)	(1.3)	(2.0)
<i>P. vulgaris</i> (Canario) (F) (S)	(2.4)	(2.8)
<i>P. vulgaris</i> (Pinto) (F) (S)	(2.4)	(2.1)
<i>P. coccineus</i> (Morado) (F) (S)	2.5	3.6
<i>P. coccineus</i> (Enredador) (V) (R)	(3.1)	(2.6)
Faba bean (F) (R)	(3.2)	(3.1)
Maize (V) (R)	(3.6)	(3.6)
<b>Weeds:</b>		
<i>S. amplexicaulis</i> (F) (S)	6.6	0
<i>S. amplexicaulis</i> (F) (R)	0	5.2
<i>T. crassifolia</i> (F) (S)	6.8	0
<i>T. crassifolia</i> (F) (R)	0	5.5

V = vegetative, F = flowering, S = shoot, R = root

### Qualitative chemical tests

#### Detection of phenolic compounds by TLC

Leachates from the following cultivated legumes that showed a strong inhibitory effect on weeds' growth were tested for the presence of simple phenolic compounds: dry aerial parts of (V) alfalfa, (V) vetch, (V) Pinto bean, and (F) faba bean. The number of TLC spots observed and the Rf values (cm) of identified compounds are shown in Table 7. More TLC phenolic spots were obtained from hydrolized plant

material compared with those obtained from liophylized material. The compounds most frequently found were:  $\rho$ -coumaric,  $\rho$ -hydroxybenzoic, and vanillic and benzoic acids. Phloroglucinol, umbelliferone, ferulic acid, orcinol, and scopoletin were detected with a lower frequency. Rf of two spots corresponded with that of two standard coumarins, umbelliferone in alfalfa, and scopoletin in vetch. These latter and other related phenolics are ubiquitous in plants, except for phloroglucinol, which is reported from relatively few sources.

**Table 7.** Number of TLC spots and Rf values (cm) from some phenolics identified in hydrolyzed (1) and liophylized (2) plant material.

Species	Treatments	Total No. of spots	Rf (cm) of the identified phenolics
Alfalfa (S, V)	1	9	13 ( $\rho$ -hydroxybenzoic acid), 22 (phloroglucinol), 44 ( $\rho$ -coumaric acid), 55 (umbelliferone).
	2	6	15 (ferulic acid), 44 ( $\rho$ -coumaric acid)
Pinto bean (S, V)	1	6	17 (vanillic acid), 44 ( $\rho$ -coumaric acid)
	2	7	17 (vanillic acid), 33 (benzoic acid), 44 ( $\rho$ -coumaric acid)
Faba bean (S, F)	1	7	13 ( $\rho$ -hydroxybenzoic acid), 17 (vanillic acid), 35 (benzoic acid), 44 ( $\rho$ -coumaric acid), 53 (orcinol).
	2	3	Non identified
Vetch (S, V)	1	8	13 ( $\rho$ -hydroxybenzoic acid), 22 (phloroglucinol), 35 (benzoic acid), 44 ( $\rho$ -coumaric acid) 53 (orcinol), 68 (scopoletin)
	2	5	15 (ferulic acid), 33 (benzoic acid), 44 ( $\rho$ -coumaric acid)

S = shoot, V = vegetative, F = flowering

## DISCUSSION

Several phenols and phenolic acids have been reported in allelopathic studies as inhibitors of plant growth (4, 5, 6, 18, 23, 34, 37, 42). Nevertheless, allelopathic inhibitory or stimulatory effects of certain compounds or their mixtures depend on their concentration in a solution (15). Blum *et al.* (7) used a continuous flow-plant-

microbial-soil system to study how various processes such as absorption and microbial utilization of *p*-coumaric acid, interacted to modify the allelopathic activity of this compound. They suggested that mixtures of phenolic acids at low individual concentrations, may be more active as allelopathic agents in soils than high concentrations of single phenolic acids, and furthermore, that the allelopathic action of individual phenolic acids in a mixture were additive when concentrations were low, but partially antagonistic when they were high.

The allelochemical effects of plant leachates on the growth of other plants and microorganisms depend mainly on the producer species, its phenological stage, the part plant containing the allelochemicals, its health state, and whether the plant material was used fresh or dry (9, 34). The results of the different bioassays performed in the present study agree with these statements. In general, the effects of the aqueous leachates of fresh cultivated legumes on the growth of test crops were not significant. However, the effects of fresh plants leachates that were significant were predominantly stimulatory (Table 2). In contrast, the effects of the aqueous leachates of fresh cultivated legumes on the growth of the test weeds were mainly inhibitory (Table 3). These results underline differences on the sensitivity of the receptor plants. In contrast, leachates of some dry crop material inhibited crop root growth except that of maize (Table 2). These results could be due both to the high concentration of allelochemicals in dry tissues and also to the sensitivity of the receptor plant. Maize root growth was stimulated by both fresh flowering beans and other legumes leachates, and also by dry vegetative beans and other legumes leachates (Table 2). We also observed that leachates of fresh and dry (F) Pinto bean significantly stimulated the root growth of their own seedlings, while the leachate from their fresh (V) shoots significantly inhibited them (Table 2). In vegetative state, fresh Canario bean produced more stimulation on the growth of beans and squash roots than in flowering stage, whereas in flowering state, the shoots of fresh Pinto bean and alfalfa stimulated the root growth of test seeds (Table 2).

Results from the present study indicate that some tested beans, particularly Canario, Pinto, and Bayo, as well as alfalfa, faba-bean and vetch, possess a selective allelochemical potential -stimulatory and inhibitory effect- that was observed in the different bioassays conducted on crops, weeds, and *Rhizobium* growth. It is likely that

some phenolics detected in the aqueous leachates of alfalfa, pinto bean, faba bean, and vetch are related with its allelopathic potential as inferred from other studies (28, 40, 41). The differences observed between the allelopathic potentials of *Phaseolus* cultivars are accordance with those of Putnam and Duke (32), who demonstrated differences in allelopathic potential among *Cucumis sativus* cultivars, and also with those of Lee et al. (25), who found differences in the allelopathic potential of rice varieties against barnyardgrass.

Through the exudation of a wide variety of compounds, it is suggested that roots can regulate the soil microbial community in their immediate vicinity, withstand herbivory, encourage beneficial symbioses, change the chemical and physical properties of the soil, and inhibit the growth of competing plant species. However, the exact fate of exuded compounds in the rhizosphere, and the nature of their reactions in the soil remains poorly understood (3).

Studies on the allelopathic potential of bean species are scarce. Anaya *et al.* (1) observed that leachates from the shoot of fresh *Phaseolus vulgaris* (Canario) significantly inhibited root growth of its own seedlings, as well as that of squash and almost all the tested weeds, while the leachates from the dry plant strongly inhibited the root growth of its own seedlings, maize, squash and tested weeds. Other studies on traditional agroecosystems from tropical zones and the southeast of Mexico have reported the use of some tropical bean species as cover crops (*Mucuna deerengianum*, *M. pruriens*, and *Canavalia ensiformis*) in 6 months to 4-5 yr rotation crops or combined with maize. Local farmers have known the properties of these legumes to control weeds for a long time. Different studies performed in the field, greenhouse, and laboratory confirmed the allelopathic effect of these legumes on several weed species (8, 16, 17, 19, 22). Unusual aminoacids contained in these legumes played important role as allelochemicals. The analysis of *M. pruriens* (velvetbean) in restraining the growth of companion plants confirmed its association with L-DOPA. This compound leaches out from leaves with rain drops or fog dew (16, 17).

Allelopathy research offers unlimited opportunities to solve practical agricultural problems and contributes to the fundamental knowledge regarding the chemistry and biology of interespecific relationships (33). Further research on

allelochemical potential of beans and other legumes at ecological, chemical and agronomic levels will provide more accurate information on these cultivars for its adequate management in agroecosystems.

## REFERENCES

1. Anaya, A.L., Ramos, L., Cruz, R., Hernández, J., and Nava, R.V. (1987). Allelopathy in Mexican traditional agroecosystems: A case study in Tlaxcala. *Journal of Chemical Ecology* **13**: 2083-2101.
2. Anaya, A.L., Cruz, R. and Nava, R.V. (1992). Impact of allelopathy in the traditional management of agroecosystems in Mexico. In: *Allelopathy. Basic and Applied Aspects* (Eds., S.J.H. Rizvi, and V. Rizvi). Pp. 271-301. Chapman and Hall, London.
3. Bais, H.P., Park, S-W., Weir, T.L., Callaway, R.M., and Vivanco, J.M. (2004). How plants communicate using the underground information superhighway. *Trends in Plant Science* **9**: 26-32.
4. Baziramakenga, R., Simard, R.R., and Leroux, G.D. (1994). Effects of benzoic and cinnamic acids on growth, mineral composition, and chlorophyll content of soybean. *Journal of Chemical Ecology* **20**: 2821-2833.
5. Blum, U. 1996. Allelopathic interactions involving phenolic acids *Journal of Nematology* **28**: 259-267.
6. Blum, U., Wentworth, T.R., Klein, K., Worsham, A.D., King, L.D., Gerig, T.M., and Lyu, S.W. (1991). Phenolic-acid content of soils from wheat-no till, wheat conventional till, and fallow-conventional till soybean cropping systems. *Journal of Chemical Ecology* **17**: 1045-1068.
7. Blum, U., Austin, M.F. and Shafer, S.R. (1999). The fates and effects of phenolic acids in a plant-microbial-soil model system. In: *Recent Advances in Allelopathy. Vol. I. A Science for the Future*. (Eds. F.A. Macias, J.C. Galindo, J.M.G. Molinillo, and H.G. Cutler). Pp: 159-166. International Allelopathy Society and Servicio de Publicaciones de la Universidad de Cádiz, Spain.

8. Caamal-Maldonado, J.A., Jiménez-Osornio, J.J., Torres-Barragán, A. and Anaya, A.L. (2001). The use of some allelopathic plants for weed control in agricultural management. *Agronomy Journal* **93**: 27-36.
9. Chaves, N., and Escudero, C.J. (1999). Variation of flavonoids synthesis induced by ecological factors. In: *Principles and Practices in Plant Ecology. Allelochemical Interactions* (Eds. Inderjit, K.M.M. Dakshini, and L.C. Foy). Pp. 267-285. CRC Press. Boca Raton, USA.
10. Chou, C.H. 1992. Allelopathy in relation to agricultural productivity in Taiwan: Problems and prospects. In: *Allelopathy: Basic and Applied Aspects*. (Eds. S.J.H. Rizvi and V. Rizvi). Pp. 179-203. Chapman and Hall, London. UK.
11. Chou, C.H. (1999). Frontiers of allelopathy in sustainable agriculture: Experiences from Taiwan. In: *Biodiversity and Allelopathy: From Organisms to Ecosystems in the Pacific*. (Eds. C.H. Chou, G.R. Waller, and C. Reinhardt). Pp. 247-261. Academia Sinica, Taipei. Taiwan.
12. Chou, C.H., Waller, G.R., Cheng, C.S., Yang, C.F. and Kim, D. (1995). Allelochemical activity of natural occurring compounds from mungbean (*Vigna radiata* L.) plants and their surrounding soil. *Botany Bulletin Academia Sinica* **36**: 9-18.
13. Chung, I.M., and Miller, D.A. (1995). Natural herbicide potential of alfalfa residues on selected weed species. *Agronomy Journal* **87**: 762-767.
14. Domínguez, A.X. (1973). *Métodos de investigación fitoquímica*. Editorial Limusa, México, D.F.
15. Einhellig, F.A. (1995). Mechanisms of action of allelochemicals in allelopathy. In: *Allelopathy: Organisms, Processes, and Applications* (Eds. Inderjit, K.M.M. Dakshini, and F.A. Einhellig). Pp. 96-116. American Chemical Society. Washington, D.C.
16. Fujii, Y. (1994). Screening of allelopathic candidates by new specific discrimination and assessment method for allelopathy, and the identification of L-DOPA as the allelopathic substance from the most promising velvetbean. *The Bulletin of the National Institute of Agro-Environmental Science* **10**: 115-218.

17. Fujii, Y. (1999). Allelopathy of hairy vetch and *Mucuna*: their application for sustainable agriculture. In: *Biodiversity and Allelopathy: From Organisms to Ecosystems in the Pacific*. (Eds., C.H. Chou, G.R. Waller, and C. Reinhardt). Pp. 289-300. Academia Sinica, Taipei.
18. Gallet, C. and Pellisier, F. (1997). Phenolic compounds in natural solutions of a coniferous forest. *Journal of Chemical Ecology* **23**: 2401-2412.
19. Gliessman, R.S. (1982). Allelopathy and biological weed control in agroecosystems. *Proceedings of the Seminar on Allelochemicals and Pheromones*. Pp. 77-86. Taipei.
20. Gliessman, R.S. (1983). Allelopathic interactions in crop-weed mixtures: applications for weed management. *Journal of Chemical Ecology* **9**: 991-999.
21. Harborne, B.J. (1984). *Phytochemical Methods. A Guide to Modern Techniques of Plant Analysis*. 2<sup>nd</sup> ed. Chapman and Hall, New York.
22. Hepperly, P., Aguilar-Erazo, H., Pérez, R., Díaz, M., and Reyes, C. (1992). Pigeon pea and velvetbean allelopathy. In: *Allelopathy. Basic and Applied Aspects*. (Eds. S.H.J. Rizvi and V. Rizvi). Pp. 357-369. Chapman and Hall, London.
23. Inderjit- Muramatsu, M. and Nishimura, H. (1997). On the allelopathic potential of certain terpenoids, phenolics, and their mixtures, and their recovery from soil. *Canadian Journal of Botany* **75**: 888-891.
24. John, J., and Narwal, S.S. (2003). Allelopathic Plants. 9. *Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit. *Allelopathy Journal* **12**: 13-36.
25. Lee, S.B., Ku, Y.C., Kim, K.H., Hahn, S.J., and Chung, I.M. 2004. Allelopathic potential of rice germplasm against barnyardgrass. *Allelopathy Journal* **13**: 17-28.
26. Linton, A. (1983). *Assesment of Antimicrobial Activity and Resistence*. Academic Press, N.Y.
27. Miller, D.A. (1996). Allelopathy in forage crop systems. *Agronomy Journal* **88**: 544-559.
28. Narwal, S.S. (1994). *Allelopathy in Crop Production*. The Scientific Publishers, Jodhpur, India.

29. Oleszeck, W., and Jurzysta, M. (1986). Isolation, chemical characterization and biological activity of alfalfa (*Medicago media* Pers.) root saponins. *Acta Societatis Botanicorum Poloniae* **55**: 23–25.
30. Oleszeck, W., and Jurzysta, M. (1987). The allelopathic potential of alfalfa root medicagenic acid glycosides and their fate in soil environments. *Plant and Soil* **98**: 67-80.
31. Oleszeck, W., Jurztya, M., and Gorski P.M. (1992). Alfalfa saponins- the allelopathic agents. In: *Allelopathy. Basic and Applied Aspects*. (Eds. S.J.H. Rizvi and V. Rizvi). Pp. 151-167. Chapman and Hall, London.
32. Putnam, A.R., and Duke, W.B. (1974). Biological suppression of weeds: evidence for allelopathy in accessions of cucumber. *Science* **185**: 370-372.
33. Putnam, A.R. (1985). Allelopathic research in agriculture. In: *The Chemistry of Allelopathy. Biochemical Interactions between Plants*. (Ed. A.C. Thompson). Pp. 1-8. *ACS Symposium Series 268*. Washington, DC.
34. Rice, E.L. (1984). *Allelopathy*. 2<sup>nd</sup> ed., Academic Press, London.
35. Sarobol, E., and Anderson, I.C. (1992). Improving yield of corn-soybean rotation: role of allelopathy. In: *Allelopathy; Basic and Applied Aspects*. (Eds., S.J.H. Rizvi and V. Rizvi). Pp. 87-100. Chapman and Hall, London.
36. Sousa, M.S., and Delgado, A. (1993). Mexican leguminosae: Phytogeography, endemism, and origins. In: *Biological Diversity of Mexico: Origins and Distributions*. (T.P. Ramamoorthy, R. Bye, A. Lot, J. Fa. Eds.). Pp. 459-512. Oxford University Press, New York.
37. Vyvyan, J.R. (2002). Allelochemicals as leads for new herbicides and agrochemicals. *Tetrahedron* **58**: 1631-1646.
38. Waller, G.R., and Einhellig, F.A. (1999). Overview of allelopathy in agriculture, forestry, and ecology. In: *Biodiversity and Allelopathy: From Organisms to Ecosystems in the Pacific*. (Eds. C.H. Chou, G.R. Waller, and C. Reinhardt). Pp. 221-245. Academia Sinica, Taipei. Taiwan.
39. Weston, L.A. (1996). Utilization of allelopathy for weed management in agroecosystems. *Agronomy Journal* **88**: 860-866.

40. Weston, L.A., and Putnam, A.R. (1985). Inhibition of growth nodulation and nitrogen fixation of legumes by quackgrass. *Crop Science* **25**: 561-565.
41. Weston, L.A., Burke, B.A., and Putnam, A.R. (1987). Isolation, characterization, and activity of phytotoxic compounds from quackgrass (*Agropyron repens* (L.) Beauv.). *Journal of Chemical Ecology* **13**: 403-421.
42. Yun, K.W., and Choi, S.K. (2002). Mycorrhizal colonization and plant growth affected by aqueous extract of *Artemisia princeps* var. *orientalis* and two phenolic compounds. *Journal of Chemical Ecology* **28**: 353-362.

## **CAPÍTULO V**

### **DISCUSIÓN FINAL**

Los objetivos de este trabajo se cumplieron al investigarse los aspectos culturales y ecológicos más relevantes del manejo tradicional de los recursos que realizan los campesinos de Santa Inés Tecuexcomac en el suroeste del estado de Tlaxcala, en los sistemas agrícolas de ‘camellones’; al evaluarse la calidad del suelo y del agua de riego y la producción de alfalfa en tres de los camellones, y finalmente, al investigar el potencial alelopático de las principales leguminosas y otros cultivos, y también de las malezas más importantes. A continuación se comenta y sintetiza la importancia de estos estudios y los principales resultados y conclusiones. También se analizan las posibles líneas de investigación y perspectivas de estudio para ahondar sobre un mayor conocimiento, manejo y conservación de los recursos en este sistema agrícola.

#### **Los camellones y el manejo tradicional de leguminosas en Santa Inés Tecuexcomac, Tlaxcala**

Los camellones de Santa Inés Tecuexcomac presentan características que la clasifican dentro de la agricultura tradicional, la cual se caracteriza por ser una agricultura de subsistencia que se desarrolla en pequeñas superficies, usa la fuerza humana en vez de la mecánica. Se apoya en el trabajo familiar, depende de condiciones de temporal y cultiva granos básicos de variedades criollas; lleva a cabo la producción de policultivos, uso de arvenses como medicina, alimento, forraje o artesanías y uso de abonos orgánicos (Altieri, 1987; Hernández-Xolocotzin *et al.*, 1995). Las fortalezas del agricultor tradicional son: el conocimiento empírico de su ambiente para aplicarlo en una producción óptima y el uso de la mayor diversidad genética posible, la cual permite una mejor adaptación de las plantas a estos pequeños ambientes. Estas características son claramente reconocibles en los sistemas de camellones de Santa Inés Tecuexcomac,

dentro de las cualidades propias de su ambiente físico, biológico, social, económico y cultural.

La agricultura de campos drenados o camellones es considerada como un sistema de producción agrícola de regadío de origen prehispánico. Se han mostrado evidencias de una amplia distribución del uso del sistema de regadío en Mesoamérica. El clima, la hidrografía y la orografía son factores ambientales que han favorecido el desarrollo de este sistema (Whetten, 1950); la orografía, aunque accidentada en la región mesoamericana, presenta superficies llanas. Los ríos, a pesar de su carácter torrencial, ofrecen posibilidades de ser controlados y las condiciones climáticas hacen el riego indispensable en algunos sitios y sumamente útil en otros. En México, 6.8% del territorio posee un régimen de lluvias abundantes todo el año; esto se presenta sólo en el trópico lluvioso donde se ha practicado, desde tiempos ancestrales, el sistema agrícola de roza-tumba-quema. La productividad de la agricultura de regadío es mayor que la de temporal ya que se aprovechan dos ciclos: el de lluvia y el de riego. La densidad de población humana se incrementa considerablemente en las zonas donde se puede practicar este tipo de agricultura, debido a que el sistema de cultivo obliga a habitar permanentemente al lado de las áreas irrigadas. Estas características hablan de la importancia de los sistemas de regadío en el desarrollo de los grandes núcleos de población y de importantes civilizaciones en Mesoamérica.

Cuando las poblaciones humanas pudieron desarrollar una técnica hidráulica especializada, conformada por diques, acequias, acueductos y canales, y establecer un sistema de mantenimiento y desasolve de los mismos, controlado por la autoridad, se dieron las condiciones para que se estableciera un sistema agrícola de regadío. Los orígenes de estos sistemas podrían remontarse al siglo V antes de Cristo de acuerdo a las evidencias de restos arqueológicos y documentos históricos (Palerm y Wolf, 1992).

Wilken (1969) fue el primero en sugerir el término "agricultura de campos drenados" como un término genérico para el complejo total de métodos que permiten mejorar y aprovechar este tipo de sistemas agrícolas, combinando los aspectos de ingeniería y agricultura. Este autor hizo una descripción general de los sistemas agrícolas de camellones, incluyendo las técnicas de riego, drenaje, manejo agrícola y producción de cultivos presentes en el suroeste de Tlaxcla. En general, los sistemas de camellones que

existen en Santa Inés Tecuexcomac, son semejantes a los descritos por este autor, aunque la forma y dimensiones de las zanjas y los camellones en Santa Inés difieren de algunos de los camellones descritos por Wilken: las zanjas y las parcelas son más anchas y el manejo es menos intensivo en cuanto al cultivo de especies hortícolas; asimismo, se observa un cultivo de leguminosas más amplio en Santa Inés (Anaya *et al.*, 1987).

Como se mencionó en los antecedentes, Altieri y Trujillo (1987) coinciden en general con los resultados de la presente tesis al describir los componentes de la agricultura del maíz en Tlaxcala, incluyendo los patrones de cultivo empleados, las estrategias de manejo de los recursos. Estos autores aportan información sobre las interacciones ecológicas de los árboles con las características del suelo y la producción del maíz, así como su influencia con respecto a la diversidad vegetal y presencia de artrópodos.

El presente trabajo confirmó los datos reportados por Anaya *et al.* (1987). En su estudio sobre el manejo agrícola de camellones de Santa Inés Tecuexcomac y la descripción de las especies vegetales presentes en ellos; estos autores realizaron un experimento en el campo donde pudieron observar el efecto alelopático de las hojas del aile y del berro acuático, utilizadas como abonos verdes, sobre el desarrollo de maíz, frijol y calabaza, así como de las arvenses y de *Rhizobium* en las raíces del frijol. En el presente trabajo, se confirmaron muchos de estos datos y se amplió el abanico de investigaciones, por medio de los estudios sobre el potencial alelopático del frijol, otras leguminosas y su interacción con el maíz y la calabaza, y cepas de *Rhizobium* confirmando la compleja red de interacciones químicas entre las plantas y los microorganismos en un agroecosistema de esta naturaleza.

En el estudio de estos camellones la información más relevante que se aportó a nivel local fue la siguiente:

- **Agrobiodiversidad de plantas**

### **Plantas cultivadas**

El principal cultivo en Santa Inés Tecuexcomac es el maíz criollo al igual que en todo el estado de Tlaxcala. Una característica sobresaliente en estos camellones es el manejo de diversas especies y variedades de leguminosas en el espacio y en el tiempo: alfalfa, haba, frijoles (comunes y ayocotes) y ebo o veza mostrando un interesante mosaico de policultivos en su paisaje. Plantas de amaranto, calabaza, cempazúchitl y huauzontle son otros cultivos que se siembran en menor cantidad en estos camellones.

### **Plantas arvenses**

La presencia de las arvenses en los camellones aumenta la diversidad vegetal de los mismos. Durante el presente estudio se cuantificaron 32 especies pertenecientes a 21 familias, siendo Poaceae y Asteraceae las que presentaron mayor número de especies. Las arvenses pueden ser aprovechadas como alimento humano, forraje, o bien, ser incorporado al suelo como abono verde. La arvense *Chenopodium album* o “huauzontle”, tiene una amplia distribución en el Altiplano mexicano, en los camellones, se siembra en una pequeña área de la parcela para su consumo posterior y es un ejemplo claro de planta en proceso de domesticación.

### **Plantas arbóreas**

La presencia de árboles presentes en las orillas de los camellones le confieren una estructura muy particular a su entorno; el más común es *Alnus* el cual establece una asociación simbiótica con el actinomiceto fijador de nitrógeno, *Frankia*. Se encontraron 8 especies de árboles frutales; aguacate, capulín, ciruela, naranja, limón, manzana y pera y 6 especies de árboles no frutales; aile, ahuehuete, fresno, pirúl, tepozán y trueno. Los árboles desempeñan funciones ecológicas importantes como aportación de materia orgánica de sus hojas al suelo, protección contra erosión, retención de humedad, refugio de aves, mamíferos y otros animales, y trampas para insectos.

### **Plantas acuáticas**

En las zanjas que rodean a los camellones se identificaron 5 especies de plantas acuáticas; *Berula erecta* ó berro acuático (Huds.) Coville (sin. *Berula angustifolia* (L.) Mert. & W. D. J. Koch) (Apiaceae), *Lemna minor* L. (“lentejilla”) (Lemnaceae) y varias especies de *Juncus*, *Hydrocotyle* y *Typha*.

- **Patrones de cultivo**

La presencia constante en estos camellones de agua en sus canales o zanjas durante todo el año, permite la realización de dos ciclos agrícolas, primavera-verano y otoño-invierno; 1) en la época de lluvias o temporal, se siembra la combinación maíz-frijol-calabaza (MFC); maíz-calabaza, maíz-haba, maíz -alfalfa y monocultivos de maíz, frijol, amaranto y alfalfa; y 2) en la época de invierno, se siembra la combinación ebo-avena y los monocultivos de haba y alfalfa. Las rotaciones de cultivos más comunes son: 1)maíz, frijol, calabaza (MFC) rotado con ebo y avena; 2) MFC rotado con haba; 3) MFC rotado con alfalfa; 4) amaranto rotado con haba; y 5) amaranto rotado con ebo y avena. Los tipos de distribución espacial de los policultivos que comúnmente se manejan son: los cultivos mezclados (avena y veza), los intercalados en surcos (maíz y haba; maíz y frijol), los intercalados en franjas (maíz y alfalfa) y los asociados (maíz y frijol trepador).

- **Fertilización orgánica**

Un manejo interesante que disminuye el uso de fertilizantes químicos en los camellones es el uso de abonos orgánicos, como el estiércol de res y otros animales del corral, la incorporación de arvenses durante los deshierbes, la aplicación de lodo y plantas de los canales al suelo cada cuatro años y la siembra y rotación de diversas leguminosas cultivadas. De esta manera el campesino recicla y aporta materia orgánica al suelo a partir de los recursos abundantes en su entorno.

- **Manejo agrícola de leguminosas**

La siembra de leguminosas en mono o policultivos y en rotación con el maíz, el principal cultivo en la zona de camellones, favorece la presencia de una mayor diversidad de cultivos con una menor incidencia de plagas y enfermedades, y por otro lado, multiplica las opciones de alimento y venta de productos para el campesino, de esta manera aumentan los ingresos y mejora la economía familiar. El campesino considera a las leguminosas como ‘mejoradoras’ del suelo ya que mantienen la humedad, especialmente cuando se siembran durante la época de invierno. En estos campos agrícolas, el campesino siembra la alfalfa, como un forraje de alta calidad y ha experimentado con diversas variedades para encontrar las más productivas; en general, se reconoce a la variedad “Atlixqueña” como resistente a la sequía y a la variedad “Peruana” como muy productiva. Otra leguminosa muy común es la veza que constituye una buena opción como forraje de invierno, ya que es resistente al frío y a diversas plagas, a diferencia de algunos frijoles comunes que además de ser sensibles al frío o al granizo, son atacados por plagas y enfermedades, aunque representan una de las especies muy apreciada como alimento, después del maíz. En los camellones se siembran dos especies de frijol (*Phaseolus vulgaris* L y *Phaseolus coccineus* L.), cuyas diversas variedades difieren en sus hábitos de crecimiento y en su sabor.

- **Ganadería**

La ganadería es una actividad complementaria para el campesino que se desarrolla de manera integrativa, ya que no solo es una fuente de proteínas en forma de carne, leche y huevo, sino también representa una forma de ingreso extra de gran importancia; adicionalmente, el ganado constituye una fuente de fertilizante orgánico para los camellones y a su vez los productos vegetales frescos y secos son un alimento para los animales domésticos.

Por otro lado, el estudio de los agroecosistemas tradicionales en Santa Inés permitió observar una clara tendencia que puede servir como punto de partida para futuras investigaciones en este campo: el manejo tradicional se está perdiendo, a medida que los agricultores se ven en la necesidad de dedicarse a otro tipo de trabajo para mantener a su familia, ya que la producción que obtienen en sus camellones, por la extensión de los mismos y la fragmentación de la propiedad, es generalmente de autoconsumo y es muy poco lo que sobra para la venta. La agricultura tiende entonces al manejo de monocultivos, al abandono de la fertilización orgánica, que exige mayor inversión de tiempo y mano de obra, y a su sustitución por fertilizantes químicos y por consecuencia a la pérdida del conocimiento ancestral; esto coincide con las conclusiones de otros trabajos (Hewitt, 1983; Toledo y Carabias, 1985).

Asimismo, el conocimiento tradicional asociado con los recursos ha atraído la atención generalizada de una gran audiencia en el mundo, asociada con las empresas privadas y públicas que tienen gran interés en la llamada “apropiación de los valores de la evolución” que plantea cuestiones muy importantes en relación con los “límites de la apropiación privada de la vida” y los potenciales monetarios de las patentes; en ambos asuntos los recursos genéticos son de gran relevancia. La discusión sobre el conocimiento tradicional, incluyendo el conocimiento ecológico y las prácticas del manejo de recursos, añade una nueva dimensión a estos temas de por sí complejos. A esta discusión se suma la cuestión de la erosión acelerada de la diversidad cultural, a medida que el mundo se vuelve más uniforme biológica y culturalmente. De este modo, surgen movimientos como la “Convención sobre la Diversidad Biológica” (SEMARNAT, 2002) que obliga a los Estados a tomar medidas activas para respetar, preservar y mantener los conocimientos, innovaciones y prácticas de las comunidades indígenas y locales; a promover

un uso más amplio del conocimiento tradicional relevante para la conservación, y el uso sustentable de la diversidad biológica en el planeta, con la condición de que los poseedores de este conocimiento, aprueben las medidas y estén involucrados en ellas; y por último, a fomentar el reparto equitativo de los beneficios derivados de la utilización del conocimiento.

**Producción de alfalfa (*Medicago sativa* L.) bajo manejo tradicional en los camellones de Santa Inés Tecuexcomac, Tlaxcala. Relación con la calidad del agua de riego y las características químicas del suelo**

Son varias las causas por las que el estudio de la alfalfa tiene gran trascendencia. La alfalfa es un cultivo forrajero de una alta calidad alimenticia y produce altos rendimientos durante varios años. En México, el área sembrada con forrajes se incrementó fuertemente durante la década de 1990 como resultado del incremento de las actividades ganaderas. Entre los períodos 1990-1996 y 1997-2002, esta área tuvo un aumento de 35%. Una alta proporción de ese aumento (56%) se dio en el norte y centro de México, de las cuales 41% corresponde al área sembrada con forrajes anuales y pasturas irrigadas. Estos cambios están relacionados también con otros cultivos, como el maíz, que está siendo desplazado de norte a sur, mientras que la ganadería está desplazando otros tipos de agricultura en muchas regiones (Améndola *et al.*, 2004).

Es interesante conocer algunos datos relacionados con la producción del cultivo de alfalfa en México en los últimos 10 años. La alfalfa se siembra principalmente en el norte y centro de México, con la excepción de una pequeña área en los valles centrales de Oaxaca en el sur del país. La alfalfa ha sido el forraje tradicional usado por los grandes productores de leche en México; por lo tanto, no es sorprendente que el área sembrada haya evolucionado siguiendo las fluctuaciones del precio de este producto. Las áreas sembradas de alfalfa no sufrieron cambios hasta mediados de la década de 1990; desde entonces, se han venido incrementando constantemente, particularmente en las regiones lecheras de Chihuahua y La Laguna. La producción de semilla de alfalfa en México es insuficiente para satisfacer la demanda. Por lo tanto, aunque hay ecotipos locales derivados de alfalfas españolas (por ejemplo, Oaxaca, Atlixco, San Miguelito, Peruana),

la mayoría de la semilla se importa de Estados Unidos y de España. En una revisión sobre este tópico, Martínez y Meza (2001) concluyen que los ecotipos locales (Atlixco, Oaxaca, San Miguelito) normalmente superan en rendimiento a los nuevos cultivares en el centro de México, mientras que lo opuesto ocurre en el norte.

La importancia del estudio de la alfalfa en Santa Inés Tecuexcomac tiene varias vertientes. La alfalfa ocupa el tercer lugar de la superficie sembrada en el municipio de Ixtacuixtla de Mariano de Matamoros con, 3,474 ha de acuerdo con INEGI en el Censo Agropecuario de 1994. La siembra de la alfalfa se debe a que 58.96% del terreno tiene un uso agropecuario y que existen 4,169 unidades de producción ganadera, de las cuales 3,649 tienen actividad agropecuaria o forestal y 520 no tienen actividad agropecuaria. Existen 23 unidades más que son urbanas. El valor de esta producción corresponde a \$13,881.00 (millones) que es la cifra más alta de ingresos con respecto a los cultivos sembrados en esta región.

Debido a la importancia alimenticia y económica de este cultivo, esta tesis aportó conocimientos a nivel parcelario sobre; las características físicas y químicas del suelo, la calidad del agua de riego con respecto a su salinidad y contenido de ion cloro y la producción del cultivo de la alfalfa, la evaluación de algunas de las características de esta planta y su relación con la biomasa seca en las tres zonas agrícolas de Santa Inés Tecuexcomac; El Bajío, La Laguna y La Loma. Se encontró que los suelos arenosos de La Loma, presentaron deficiencias de materia orgánica, N,  $\text{Ca}^{2+}$  y  $\text{K}^+$ ; este tipo de suelos favorece la lixiviación de nutrientes. Por el contrario, los suelos de la Laguna son extremadamente ricos en MO, N,  $\text{Ca}^{++}$  y  $\text{Mg}^{++}$  y se observa una mayor fertilización con estiércol. A pesar de esto, la productividad en esta zona tiende a ser la más baja, probablemente porque en este sitio se presenta un nivel freático alto o bien porque la variedad sembrada no es altamente productiva. En relación al suelo, no se detectaron problemas de salinidad o sodicidad en las tres áreas de estudio.

Por otro lado, con respecto a los estudios sobre la calidad del agua de riego para la alfalfa en los últimos 20 años, éstos se han enfocado básicamente en dos factores de importancia ambiental: la salinidad y la presencia de metales pesados en las aguas negras residuales con las que se riega este cultivo. En el municipio de Ixtacuixtla, al cual pertenece Santa Inés, se reporta que el agua, el suelo y la flora son los recursos naturales más afectados por las descargas de diversas industrias (INEGI, 1984, 1990), las cuales han aumentado en número, y junto con las descargas domésticas, han incrementado el problema de contaminación del agua, fundamentalmente en las zonas industriales de los Estados de Puebla y Tlaxcla. En Santa Inés Tecuexcomac, los factores que pueden aumentar las sales en el suelo, particularmente en la zonas del valle (El Bajío y La Laguna), son dos: 1) los mantos freáticos superficiales (normalmente a menos de 3 m) siempre contienen sales disueltas en mayor o menor proporción y estas sales ascienden a través del suelo por capilaridad. En general, la existencia de mantos freáticos superficiales se da en las depresiones y tierras bajas, y de aquí la relación entre la salinidad y la topografía. La zona donde se encontró el valor más alto de sales fue precisamente en La Laguna ya que su manto freático se encuentra a 1 m de la superficie; y 2) en los suelos con condiciones de mal drenaje, el agua circula lentamente y por ello disuelve mayor cantidad de sales que se distribuyen en el perfil sin que puedan eliminarse o concentrarse en grandes cantidades. Estas condiciones son determinantes y tienen efectos sobre la productividad de los cultivos. Se ha encontrado que existe una relación lineal entre la salinidad del suelo y la disminución en la producción de los cultivos (Mass, 1986; Munn y Termaat, 1989)

En la presente tesis se evaluaron los índices de salinidad y contenido del ion cloro en el agua de riego, proveniente del río Atoyac, que corre por las zanjas que rodean los camellones de La Laguna y El Bajío, así como en el agua de pozo de La Loma. La clasificación de la calidad del agua para los tres sitios, correspondió a  $C_2S_1$ , es decir, aguas medianamente salinas y sin problemas de sodicidad, de buena calidad con base en los índices de salinidad efectiva, salinidad potencial, carbonato de sodio residual y presencia del ión cloro. La Laguna y La Loma presentaron los valores más altos en cuanto a pH, CE, cationes y aniones, excepto en el contenido del ion  $Cl^-$  y  $NO_3^-$  y fueron

significativamente diferentes a los valores del agua de El Bajío que presentó los valores más bajos. En otros estudios realizados en cuanto a salinidad y contaminantes realizados en el trayecto del río Atoyac se encontraron condiciones semejantes a las de esta tesis, pero también se encontraron puntos de muestreo en donde estas condiciones del agua superaban las normas propuestas por SEDUE por lo que se recomienda de manera urgente el control de desechos enviados al río para evitar la acumulación en el suelo de sales y metales pesados (Rodríguez, 1992; Méndez *et al.*, 2000).

Con respecto a la producción de alfalfa en los camellones de estudio se encontró que la alfalfa de la variedad “Peruana” sembrada en la zona de La Loma, registró el mayor número de individuos y biomasa fresca por área, lo cual determinó que, a pesar de crecer en el suelo más arenoso y pobre, la productividad en fresco fue mayor con respecto a la variedad Atlixqueña que se siembran en El Bajío y La Laguna. Los valores de biomasa fresca, ancho de foliolos, superficie de los mismos por individuo y altura de las plantas, fueron mayores en la variedad Peruana, aunque la biomasa seca no resultó significativamente diferente comparada con la de los camellones de El Bajío y La Laguna. El análisis de regresión mostró que las variables que tienen mayor influencia y significancia sobre la biomasa seca de alfalfa fueron: la biomasa fresca y el número de individuos por área, lo que muestra una relación directa con la variable dependiente (biomasa seca).

Respecto a las líneas e investigaciones futuras sobre los temas desarrollados en este trabajo, se proponen las siguientes: 1) Considerando el amplio uso de abonos orgánicos en el suelo de los camellones es necesario realizar experimentos relacionados con respecto a la fertilización de los suelos y su efecto en la producción de los cultivos. Se proponen investigaciones en donde se comparen las técnicas tradicionales de manejo de los diferentes abonos orgánicos, tanto vegetales como animales, con respecto a la aplicación de tratamientos experimentales en donde estos abonos se sometan a un proceso de composteo o “proceso de descomposición de la materia orgánica

por una mezcla de poblaciones microbianas, bajo el control de temperatura, humedad y aireación, para dar un producto estable y rico en compuestos húmicos” (FAO, 1991), como una alternativa para conservar los elementos que requieren las plantas para su desarrollo y no se pierdan cuando se exponen a condiciones no controladas. En este sentido Bertrand (1993) midió la pérdida de N de abono de res bajo condiciones naturales, el encontró que por medio de volatilización de  $\text{NH}_3$  se pierden alrededor de 28 kg N/ha, por desnitrificación 146 kg N/ha y por lixiviación la pérdida de N puede ser del orden de 138 kg N/ha en época de lluvias cuando estos abonos son depositados en los campos cultivados. También se pueden comparar estos tratamientos con los fertilizantes químicos comúnmente usadas por los agricultores. En este sentido, en México y en particular en los camellones, podrían aplicarse las técnicas de producción de la agricultura orgánica con toda rigurosidad y certificación para poderles dar a sus productos el valor agregado; alimenticio, ecológico y económico cuando son producidos bajo este sistema (Ruiz-Figueroa, 1999).

2) Con el objeto de tener una mayor robustez en los datos de las variables medidas en este estudio en relación con salinidad del agua, fertilidad del suelo y producción de la alfalfa, es necesario realizar experimentos similares y simultáneos en las tres zonas ecológicas de estos camellones a través del año y de varios años, aumentar el número de muestras en cada zona y controlar variables de entrada al sistema como: tipo de cultivar, densidad de siembra, cantidad de fertilizante, cuantificación de la lámina de riego entre otras.

3) Se debe continuar el monitoreo y las investigaciones relacionadas con la calidad del agua de riego a lo largo del trayecto de los ríos Atoyac y Zahuapan como las principales cuerpos de agua que aportan este recurso. La dinámica de las sales solubles en el tiempo y en el espacio, es relativamente rápida; de ahí que, tanto en estudios de salinización como en aquellos otros de lavado y

recuperación de suelos salinos, sea necesaria una monitorización a intervalos cortos y el análisis de un gran número de muestras (Aragués, 1995). Acciones que deberían ser apoyadas por instituciones tanto gubernamentales, como particulares y académicas, formando parte de un proyecto general de nación en donde se tenga como objetivo primordial, el manejo y la conservación de este recurso.

### **Potencial alelopático de frijoles (*Phaseolus spp.*) y otros cultivos**

Dentro de la amplia gama de interacciones que se pueden presentar entre los seres vivos se encuentran las relaciones químicas entre ellos a partir de metabolitos secundarios producidos por plantas y microorganismos con efectos sobre otros sistemas biológicos, interacción conocida como alelopatía (IAS, 1992). En esta tesis se aportó conocimiento a nivel químico sobre el potencial alelopático de frijol común y ayocotes, otras leguminosas, plantas arvenses y otros cultivos asociados y comúnmente sembrados por los campesinos de Santa Inés. El estudio de las interacciones *in vitro* nos da la primera respuesta sobre el proceso de alelopatía a través de la liberación de metabolitos secundarios entre plantas y microorganismos. Los estudios sobre potencial fitotóxico de los lixiviados de plantas son de gran importancia ya que también nos permiten detectar la presencia de productos naturales con actividad herbicida, bactericida, fungicida, insecticida (Anaya y Espinoza-García, 2001). O bien si la respuesta es estimulante se puede proponer asociar o intercalar plantas cultivadas y arvenses (Jímenez-Osornio y Del Amo, 1984, Jímenez *et al.*, 1996), o aplicar estas plantas como abonos verdes o coberturas (Anaya *et al.*, 1987; Nava *et al.*, 1987; Camaal *et al.*, 2000).

Los estudios sobre potencial alelolepático en plantas cultivadas de leguminosas se han realizado tanto en el laboratorio como en invernadero y campo, bajo diferentes sistemas de cultivo. En relación con estas últimas, la práctica del monocultivo llevada a cabo por varios años a menudo produce problemas de autotoxicidad para la especie cultivada debido a la acumulación

de fitotoxinas, especialmente las que se producen por la descomposición de los residuos del cultivo. Estos efectos autotóxicos se han observado en el trébol rojo (Chang *et al.*, 1969), en *Vigna radiata* (Waller *et al.*, 1995; Waller y Einghellig, 1999) y en la alfalfa (Klein y Miller, 1980; Jensen *et al.*, 1984; Chung y Miller, 1995; Waller *et al.*, 1993). La alfalfa ha sido uno de los cultivos más estudiados con respecto a su actividad alelopática, tanto autotóxica como heterotóxica (Miller, 1996). Guenzi *et al.* (1964) mencionan que al incorporar al suelo los residuos de alfalfa durante varios años, se liberan y producen sustancias tóxicas para las nuevas plántulas de alfalfa. Algunos bioensayos realizados en el laboratorio mostraron que los extractos acuosos de la alfalfa pueden inhibir la germinación y el crecimiento de diversas especies arvenses, tanto monocotiledóneas como dicotiledóneas (Klein y Miller, 1980). Waller *et al.* (1995) aislaron diversas saponinas de la raíz de la alfalfa cimarrona y las prueban sobre el crecimiento de algunas arvenses, demostrando su efecto fitotóxico. Las saponinas de la alfalfa, que contienen principalmente glicósidos del ácido medicagénico también resultaron alelopáticas para el trigo. Otros compuestos presentes en la alfalfa, los pterocarpanos, retardan la germinación y el crecimiento radicular de otras plantas.

También los tréboles de zonas templadas han sido ampliamente estudiados con respecto a su potencial alelopático (Miller, 1996). En las zonas tropicales, *Mucuna deeringiana* (Bort) Merr. (sin. *Mucuna pruriens* (L.) DC. var. *utilis* (Wall. ex Wight) Baker ex Burck ó "nescafé") y *Cajanus cajan* L. Millsp., son leguminosas que han sido ampliamente utilizadas, junto con otros frijoles, como cultivos de cobertura en las zonas tropicales de América, Asia y África, con objeto de controlar el crecimiento de especies arvenses, además de enriquecer el suelo con nitrógeno y materia orgánica (Roder *et al.*, 1997; Tian

*et al.*, 2000; Camaal *et al.*, 2001). En relación al potencial alelopático de estas leguminosas, éste se atribuye parcialmente a su contenido en L-DOPA, aminoácido no protéico con propiedades fitotóxicas (Fujii *et al.*, 1991, 1992). Otros autores han reportado el efecto alelopático de leguminosas comestibles como la soya (Sarobol y Anderson, 1992) y el frijol *Vigna radiata* (L.) R. Wilczek, ampliamente cultivadas en los agroecosistemas de Taiwan (Waller *et al.*, 1995).

Pero existe poca información sobre el potencial alelopático del frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.), el frijol ayocote (*Phaseolus coccineus* L.) y el haba (*Vicia faba* L.), cultivos ampliamente utilizados en el altiplano mexicano. Por lo que en esta tesis se realizó un estudio preliminar sobre este potencial a partir de sus lixiviados acuosos. A continuación se mencionan los principales resultados y conclusiones de esta investigación.

Se realizó la evaluación del potencial alelopático de algunas variedades de *Phaseolus vulgaris* y *P. coccineus*, alfalfa, haba, veza, maíz y calabaza, que son cultivadas en combinación o en rotación en los camellones de Santa Inés, así como de algunas de las principales malezas que crecen en estos camellones, se realizó *in vitro* mediante el sistema de caja de petri. Las semillas de prueba fueron: frijoles comunes y ayocotes, maíz, calabaza, amaranto, *Echinochloa crus-galli*, *Ipomoea* sp. y verdolaga. Así mismo, se probó el efecto alelopático sobre dos cepas de *Rhizobium leguminosarum* biovar. *phaseoli* (CPMex1 y Tlaxcala). En general, los efectos de los lixiviados del material vegetal fresco, tanto de los cultivos en estado vegetativo como en floración, fueron predominantemente estimulatorios sobre el crecimiento de la raíz de las especies cultivadas de prueba. Las que estimularon en mayor grado, fueron la alfalfa y el frijol pinto. En cambio los lixiviados de este mismo material vegetal seco tuvieron en general, un efecto

inhibitorio sobre la raíz de los cultivos de prueba, excepto sobre el maíz. Los lixiviados acuosos de las leguminosas (material fresco y seco), inhibieron el crecimiento de la raíz de las malezas (20% a 84%). Prácticamente todos los lixiviados acuosos de las plantas cultivadas estimularon el crecimiento de las dos cepas de *Rhizobium*, con excepción del de *P. coccineus* var. Morado. Sólo los lixiviados de las malezas *Simsia amplexicaulis* y *Tradescantia crassifolia* inhibieron el crecimiento de las dos cepas. Las pruebas químicas preliminares utilizando la cromatografía en capa fina, mostraron la presencia de fenoles en el material seco de la alfalfa, frijol pinto, haba y veza, lo que sugiere la importancia de esta clase de metabolitos secundarios en las relaciones químicas planta-planta. Los fenoles son sustancias que poseen un anillo aromático unido a uno o más sustituyentes del grupo hidroxilo (Harborne y Baxter, 1993). A pesar de que estos compuestos poseen una estructura molecular sencilla, se ha mostrado su efecto sobre la germinación, el crecimiento y el desarrollo de diferentes plantas y microorganismos (Einhellig, 1985). Sin duda se requiere de investigación más profunda y minuciosa, a nivel químico, a nivel invernadero y campo para un mayor conocimiento de estas interacciones y para entender la trascendencia que tienen con respecto a otras interacciones bióticas y abióticas bajo condiciones naturales.

El potencial alelopático de diferentes cultivos ha recibido gran atención por la posibilidad de utilizar a la alelopatía como una herramienta para el control de malezas. Entre los cultivos con potencial alelopático más estudiados se encuentran: el pepino (Putnam y Duke, 1974), la avena (Fay y Duke, 1977), el girasol (Leather, 1983; Macías *et al.*, 2004), el arroz. (Dilday *et al.* 1991; Kim *et al.*, 1999), la cebada (Lovett y Hault, 1995), el sorgo (Einhellig y Rasmussen, 1989; Nimbali *et al.*, 1996), el tabaco y el trigo (Wu *et al.*, 1999).

Si bien el enfoque del fitomejoramiento, por sí solo, no puede solucionar los problemas causados por las malezas, un incremento en el potencial alelopático de las variedades de los cultivos tendrá probablemente un gran impacto sobre los sistemas de producción, tanto en los de bajo como de altos insumos (Olofsdotter, 2001). El potencial alelopático de un cultivo debe detectarse como un hecho significativo bajo condiciones de campo; además, es necesario investigar si es efectivo sobre malezas, identificar los aleloquímicos responsables de la inhibición y los genes responsables del efecto alelopático, todo lo cual podría arrojar luz sobre los métodos fitotécnicos adecuados para el desarrollo de cultivares alelopáticos, formando parte del manejo integral de malezas (Courtois *et al.*, 1998; Jensen *et al.*, 2001; Kim y Shim, 2001).

En México, desde 1998 el Centro de Investigación y Estudios Avanzados del IPN, Unidad Mérida (CINVESTAV, 2000), y otros centros de investigación en este país, están trabajando, en la conservación de las variedades de cultivos locales (cultivos criollos) en terreno de los productores y avanzando en el conocimiento de las relaciones que existen entre la clasificación práctica que realizan los productores y las características genéticas y composición nutricional de las distintas especies de la milpa. Faltan estudios sobre su potencial alelopático, químico y molecular para poder ofrecer germoplasma contra malezas, microorganismos patógenos o plagas en estos cultivares nativos de nuestro país.

## **EPÍLOGO**

### **MANEJO Y CONSERVACIÓN DE LOS RECURSOS**

Se plantean tres elementos que son fundamentales para mejorar la productividad sustentable de un sistema agrícola: la biodiversidad del agroecosistema, el manejo

integrado de recursos y el conocimiento local tradicional (Altieri y Nicholls, 2000). En este mismo tenor, también se propone como una de las estrategias para la conservación de los recursos naturales, la conservación de la biodiversidad y en este caso la agrobiodiversidad, rescatando las experiencias exitosas locales en las prácticas agrícolas tradicionales, así como los hallazgos científicos en agroecología tendientes a un desarrollo sustentable. Algunas de estas acciones son: (1) la conservación *in situ* de la agrobiodiversidad, incluyendo la protección de hábitats de poblaciones silvestres, mantenimiento de poblaciones nativas y variedades en los agroecosistemas tradicionales y una educación ambiental relevante; (2) la conservación *ex situ* y promoción de la agrobiodiversidad, incluyendo el establecimiento de colecciones vivas, creación de bancos de germoplasma y la introducción de especies y variedades para la práctica agrícola en los agroecosistemas; y (3) la promoción y conservación de la agrobiodiversidad a través de métodos sustentables incluyendo el desarrollo de técnicas de propagación, sistemas de cultivo, control integrado de plagas y enfermedades, manejo integral dentro y fuera de los campos agrícolas y a diferentes niveles del sistema (Thrupp, 2002).

De acuerdo a los planteamientos anteriormente mencionados, los camellones presentan características ambientales y de manejo de recursos que le permiten desarrollar una producción sustentable. Los camellones representan una de las formas ingeniosas e innovadoras de producción agrícola en zonas de inundación con problemas de drenaje. Estas técnicas de ingeniería y manejo agrícola no sólo han sido utilizadas por los campesinos de Tlaxcala. Darch (1983) también reporta su presencia en los estados de México, Puebla y Oaxaca. Parsons y Bowen (1966) descubrieron campos elevados que cubren alrededor de 64,770 ha en las orillas del río San Jorge en Colombia, y Denevan (1966) reporta la presencia de camellones en los Llanos de Mojos en Bolivia. Algunos de los camellones de Santa Inés Tecuexcomac en Tlaxcala fueron anteriormente zonas de pastizales y en 1941 se abrieron zanjas y una red de canales para conformar nuevas zonas de producción agrícola de campos drenados (Wilken, 1969). Debido a las ventajas alimenticias, económicas y ecológicas en la producción de policultivos con un uso múltiple, manejo orgánico, plantación de árboles y presencia permanente de agua, se ha tratado de reproducir, reintroducir y adaptar esta agricultura en sitios con características ambientales similares.

El Instituto Nacional de Investigaciones sobre Recursos Bióticos (INIREB), fundado en 1976, inició un proyecto agroecológico cuya finalidad fue la búsqueda de sistemas agrícolas más eficientes para producir alimentos y otros productos que permitieran mejorar la calidad de vida de los campesinos en las zonas tropicales de México. En este proyecto se decidió buscar sistemas que fueran altamente productivos, ecológicamente aceptables y que requirieran poco capital para su mantenimiento. El sistema de camellones fue uno de los modelos escogidos, con el cual se iniciaron varios experimentos para probar su transferencia a otras zonas de México. El más conocido, que se inició a finales de los años 70, fue la construcción de camellones en la zona chontal del occidente de Tabasco, sobre la planicie del sistema fluvial Mexcalapa-Grijalva, caracterizada por un manto freático superficial e inundaciones temporales. En términos generales, el proyecto de camellones chontales fue recibido como provechoso por las comunidades de la zona, puesto que ofreció a sus habitantes la opción de llevar a cabo actividades de agricultura y pesca durante todo el año en un solo sitio, a través de la construcción de un medio ambiente agrícola-piscícola artificial (INI, 1988). De los pantanos emergieron campos agrícolas en donde se probaron muchos cultivos; lo más importante es que los camellones de Tabasco siguen en pie y han sido transformados por los chontales; se han plantado frutales y muchas otras especies, lo que los ha convertido en huertos familiares, similares a los que hipotéticamente existieron antes de la conquista (Gómez-Pompa, 1999). También en Colombia, a lo largo del río San Jorge, se intenta utilizar la información de estos estudios para reintroducir este sistema agrícola en sitios cuyas condiciones se presten para ello, como grandes extensiones de pampa que se inundan cada año, con el fin de ampliar sustancialmente la frontera agrícola; aunque se reconoce que los agricultores tienen grandes desventajas frente a los ganaderos, cuya economía es mucho más fuerte (Denevan, 1966). Estos casos sirven como ejemplos para mostrar como se pueden manejar, conservar y aprovechar los recursos naturales presentes en una zona inundable para un uso agrícola, con el objetivo de presentar una mejor opción del manejo ambiental, económico y social en el proceso de transformación de los ecosistemas naturales. En síntesis se busca favorecer los sistemas agrícolas que fomenten la sustentabilidad ecológica, social y económica. En cuanto a los aspectos ecológicos se refiere, se busca que los agroecosistemas conserven la biodiversidad sin desplazar a los granos básicos que cubren los aspectos de seguridad alimentaria, que

favorezcan la conservación del agua y del suelo en relación con su calidad física, química y microbiológica, que permitan la captura de CO<sub>2</sub> y de esta manera impactar de manera positiva sobre el cambio climático global. Reconociendo el aporte del conocimiento empírico tradicional respaldado con las investigaciones científicas y enriquecido con los descubrimientos formales que nos permitan comprender y manejar de manera adecuada los recursos que sustentan la vida sobre La Tierra.

pantanos emergieron campos agrícolas en donde se probaron muchos cultivos; lo más importante es que los camellones de Tabasco siguen en pie y han sido transformados por los chontales; se han plantado frutales y muchas otras especies, lo que los ha convertido en huertos familiares, similares a los que hipotéticamente existieron antes de la conquista (Gómez-Pompa, 1999). También en Colombia, a lo largo del río San Jorge, se intenta utilizar la información de estos estudios para reintroducir este sistema agrícola en sitios cuyas condiciones se presten para ello, como grandes extensiones de pampa que se inundan cada año, con el fin de ampliar sustancialmente la frontera agrícola; aunque se reconoce que los agricultores tienen grandes desventajas frente a los ganaderos, cuya economía es mucho más fuerte (Denevan, 1966). Estos casos sirven como ejemplos para mostrar como se pueden manejar, conservar y aprovechar los recursos naturales presentes en una zona inundable para un uso agrícola, con el objetivo de presentar una mejor opción del manejo ambiental, económico y social en el proceso de transformación de los ecosistemas naturales. En síntesis se busca favorecer los sistemas agrícolas que fomenten la sustentabilidad ecológica, social y económica. En cuanto a los aspectos ecológicos se refiere, se busca que los agroecosistemas conserven la biodiversidad sin desplazar a los granos básicos que cubren los aspectos de seguridad alimentaria, que favorezcan la conservación del agua y del suelo en relación con su calidad física, química y microbiológica, que permitan la captura de CO<sub>2</sub> y de esta manera impactar de manera positiva sobre el cambio climático global. Reconociendo el aporte del conocimiento empírico tradicional respaldado con las investigaciones científicas y enriquecido con los descubrimientos formales que nos permitan comprender y manejar de manera adecuada los recursos que sustentan la vida sobre La Tierra.

## REFERENCIAS

- Améndola, R., Castillo, E. y Martínez-Hernández. P.A. 2004. *Pasturas y cultivos forrajeros*. En: [http://www.fao.org/WAICENT/FAOINFO/AGRICULT/AGP/AGP\\_C/doc/Counprof/spanishtrad/Mexico\\_sp/Mexico\\_sp.htm](http://www.fao.org/WAICENT/FAOINFO/AGRICULT/AGP/AGP_C/doc/Counprof/spanishtrad/Mexico_sp/Mexico_sp.htm)

pantanos emergieron campos agrícolas en donde se probaron muchos cultivos; lo más importante es que los camellones de Tabasco siguen en pie y han sido transformados por los chontales; se han plantado frutales y muchas otras especies, lo que los ha convertido en huertos familiares, similares a los que hipotéticamente existieron antes de la conquista (Gómez-Pompa, 1999). También en Colombia, a lo largo del río San Jorge, se intenta utilizar la información de estos estudios para reintroducir este sistema agrícola en sitios cuyas condiciones se presten para ello, como grandes extensiones de pampa que se inundan cada año, con el fin de ampliar sustancialmente la frontera agrícola; aunque se reconoce que los agricultores tienen grandes desventajas frente a los ganaderos, cuya economía es mucho más fuerte (Denevan, 1966). Estos casos sirven como ejemplos para mostrar como se pueden manejar, conservar y aprovechar los recursos naturales presentes en una zona inundable para un uso agrícola, con el objetivo de presentar una mejor opción del manejo ambiental, económico y social en el proceso de transformación de los ecosistemas naturales. En síntesis se busca favorecer los sistemas agrícolas que fomenten la sustentabilidad ecológica, social y económica. En cuanto a los aspectos ecológicos se refiere, se busca que los agroecosistemas conserven la biodiversidad sin desplazar a los granos básicos que cubren los aspectos de seguridad alimentaria, que favorezcan la conservación del agua y del suelo en relación con su calidad física, química y microbiológica, que permitan la captura de CO<sub>2</sub> y de esta manera impactar de manera positiva sobre el cambio climático global. Reconociendo el aporte del conocimiento empírico tradicional respaldado con las investigaciones científicas y enriquecido con los descubrimientos formales que nos permitan comprender y manejar de manera adecuada los recursos que sustentan la vida sobre La Tierra.

## REFERENCIAS

- Améndola, R., Castillo, E. y Martínez-Hernández. P.A. 2004. *Pasturas y cultivos forrajeros*. En: [http://www.fao.org/WAICENT/FAOINFO/AGRICULT/AGP/AGP\\_C/doc/Counprof/spanishtrad/Mexico\\_sp/Mexico\\_sp.htm](http://www.fao.org/WAICENT/FAOINFO/AGRICULT/AGP/AGP_C/doc/Counprof/spanishtrad/Mexico_sp/Mexico_sp.htm)

- Altieri, M y Nicholls. 2000. *Agroecología: Teoría y práctica para una agricultura sustentable*. Serie textos básicos para la formación ambiental, número 4. PNUMA/ORPALC. México, D.F.
- Anaya, A.L., Ramos, L., Cruz-Ortega. R., Nava, R.V. 1987. Perspectives on allelopathy in Mexican traditional agroecosystems; a case study in Tlaxcala. *J. of Chem. Ecol.* 13: 2083-2101.
- Anaya, A.L., Espinoza-García, J.F. y Cruz, O.R. 2001. *Relaciones Químicas entre Organismos, Aspectos Básicos y Perspectivas de su Aplicación*. Instituto de Ecología, UNAM y Plaza y Valdés Editores, México.
- Altieri, M.A. 1987. *Agroecology: The Scientific Basis for Alternative Agriculture*. Westview Press. Boulder, Colorado.
- Altieri, A.M. y Trujillo, J. 1987. The agroecology of corn production in Tlaxcala, México. *Human Ecology*. 15: 189-220.
- Aragués, R. 1995. Agricultura de regadío y salinización de suelos y aguas. *Frontera de la Ciencia y la Tecnología* 8: 36-39.
- Bertrand, M. 1993. *Caracterización y gestión de los estiércoles sólidos y licuados en residuos ganaderos*. Fundación "La Caixa". Jornadas Técnicas. Barcelona.
- Caamal-Maldonado, J.A., Jiménez-Osornio, J.J., Torres-Barragán, A. y Anaya, A.L. 2001. The use of some allelopathic plants for weed control in agricultural management. *Agron. J.* 93: 27-36.
- Chang, C.F., Susuki, A., Kumari, S. y Tamura, S. 1969. Chemical studies on "clover sickness". Part II. Biological functions of isoflavonoids and their related compounds. *Agric. Biol. Chem.* 33: 398-408.
- Chung, I.M. y Miller, D.A. 1995. Natural herbicide potential of alfalfa residues on selected weed species. *Agron. J.* 87: 762-767.
- CINVESTAV. Centro de Investigación y Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional. 2000. Recuperando biodiversidad en Yucatán, México. En <http://www.grain.org/biodiversidad/?id=96>
- Courtois, B. y Olofsdotter, M. 1998. *Incorporating the allelopathy trait in upland rice breeding programs*. En: M. Olofsdotter (ed.). *Allelopathy in Rice*. pp: 57-68. International Rice Research Institute. Manila, Filipinas

- Darch, J.E. (editor). 1983. *Drained Field Agriculture in Central and South America*. BAR International Series, Wallingford, Oxford.
- Denevan, M.W. 1966. The aboriginal cultural geography of the Llanos de Mojos of Bolivia. *Revista Ibero-Americana* 48: 84.
- Dilday, R.H., Nastasi, P., Lin, J. y Smith, R.J., Jr. 1991. Allelopathic activity in rice (*Oryza sativa* L.) against ducksalad (*Heteranthera limosa* [Sw.] Willd.) En: D. Hanson, M.J. Schaffer, D.A. Ball y C.V. Cole (eds.). *Symposium Proceedings on Sustainable Agriculture for the Great Plains*. pp: 193-201.
- Einhellig, F.A. 1985. *Allelopathy: A Natural Protection. Allelochemicals*. En: *Handbook of Natural Pesticides: Methods. Vol I. Theory, Practice and Detection*. pp:171-188. CRC Press, Inc. Boca Raton, Florida.
- Einhellig, F.A. and Rasmussen, J.A. 1989. Prior cropping with grain sorghum inhibits weeds. *J. Chem. Ecol.* 15: 951-960.
- FAO. Food and Agriculture Organization of the United Nations. 1991. *Manejo de suelos. Producción y uso de composta en ambientes tropicales. Boletín de Suelos* 56. Roma.
- Fay, P.K. y Duke, W.B. 1977. An assessment of allelopathic potential in *Avena* germoplasm. *Weed Sci.* 25: 224-228.
- Fuji, Y., Shibuya, T. y Yasuda, T. 1991. L-3-4-Dihidroxy-phenilalanina as an allelochemical candidate from *Mucuna pruriens* (L.). D. C. var utilis. *Agric. Biol. Chem.* 55:612-617.
- Fuji, Y., Shibuya, T. y Yasuda, T. 1992. Allelopathy of velvet bean: its discrimination of L-DOPA as a candidate of allelopathic substance. *Jap. Agric. Res. Quart.* 25: 238-247.
- Gómez-Pompa, A. 1999. *Una Visión Ecológica de los Camellones Chontales*. En: J.J. Jiménez-Osornio y V.M Rorive. (compiladores). *Los Camellones y Chinampas Tropicales*. pp. 19-26. Universidad Autónoma de Yucatán, Mérida.
- Guenzi, W.D., Kehr, W.R. y McCalla, T.M. 1964. Water soluble phytotoxic substances in alfalfa forage: variation with variety, cutting, year, and stage of growth. *Agron. J.* 56: 499-500.

- Harborne, J.B. and Baxter, H. 1993. *Phytochemical Dictionary: A Handbook of Bioactive Compounds from Plants*. Taylor and Francis Ed. London.
- Hernández-Xolocotzin, E., Bello, E.B. y Levy, T. S. 1995. *Agricultura Tradicional en México*. Universidad Autónoma de Chapingo, Chapingo. Estado de México.
- Hewitt, C. 1983. *La modernización de la agricultura mexicana*. Ed. Siglo XXI, México, D.F.
- IAS. International Allelopathy Society. 1996. Proceedings of the First World Congress on Allelopathy. Cádiz.
- INI. Instituto Nacional Indigenista. 1988. Camellones Chontales. Proyecto para la explotación de zonas pantanosas. INI-COPLAMAR. México, D.F.
- INEGI. 1984. *Manual de estadísticas del estado de Tlaxcala*. Instituto de Estadística, Geografía e Informática, México, D.F.
- INEGI. 1990. *Manual de estadísticas del Estado de Tlaxcala*. Instituto de Estadística, Geografía e Informática. Aguascalientes.
- INEGI. 1994. *XI Censo agrícola y ganadero*. Instituto de Estadística, Geografía e Informática. Aguascalientes.
- Jensen, E.H., Meyers, K.D., Jones, C.L. y Leedy, C.D. 1984. Effect of alfalfa foliage and alfalfa soil extracts on alfalfa seedling vigor. Report 29<sup>th</sup> Alfalfa Improve Conf., p. 38.
- Jensen, L.B., Courtois, B., Shen, L., Li, Z., Olofsdotter, M. y Mauleon, R.P. 2001. Location genes controlling rice allelopathic effects against barnyardgrass in upland rice. *Agron. J.* 93: 21-26.
- Jiménez-Osornio, J.J. y Del Amo, S. 1984. *La Chinampa: la pérdida de un agroecosistema tradicional mexicano*. En: Del Amo, S. (editora). *Cuatro estudios sobre sistemas tradicionales*. 11-30 p. Serie de Investigaciones Sociales No. 17, Instituto Nacional Indigenista. México, D.F.
- Jiménez M. A. 1989. *La Producción de Forrajes en México*. Universidad Autónoma Chapingo, Banco de México-FIRA. Chapingo, Estado de Mexico.
- Jiménez, O.J., Kumamoto, J. y C. Wasser. 1996. Allelopathic activity of *Chenopodium ambrosoides*, L. *Biochemical Systematics and Ecology* 24: 95-205.

- Kim, K.U., Shin, D.H., Kim, H.Y. Lee, I J. y Olofsson, M. 1999. Evaluation of allelopathic potential in rice germoplasm. *Korean J. of Weed Sci.* 9(2): 1-9.
- Kim, K.U. y Shin, D.H. 2001. Estrategias para el fitomejoramiento de cultivos alelopáticos. En: <http://www.fao.org/docrep/007/y5031s/>.
- Klein, R.R. y Miller, D.A. 1980. Allelopathy and its role in agriculture. *Commun. Soil Plant Anal.* 11: 43-56.
- Leather, G. R. 1983. Sunflowers (*Helianthus annuus*) are allelopathic to weeds. *Weed Sci.* 31: 37-42.
- Lovett, J.V. y Hoult, A.H.C. 1995. Allelopathy and self-defense in barley. *An. Chem. Soc. Symp. Ser.* 582: 170-183.
- Méndez-García, T., Rodríguez-Domínguez, L. y Palacios-Mayorga, S. 2000. Impacto del riego con aguas contaminadas, evaluado a través de la presencia de metales pesados en suelos. *Terra* 18: 277-288.
- Macías, F.A., Molinillo, J.M.G., Chinchilla, D. y Galindo, J.C.G. 2004. *Heliannanes – a structure-activity relationship (SAR) study*. In: Macías, F.A., Galindo, J.C.G., Molinillo, J.M.G., and Cutler, H.G. (eds). *Allelopathy: Chemistry and Mode of Action of Allelochemicals*. CRC Press, Boca Raton.
- Martínez, H.P.A. y Meza N.M.A. 2001. Opciones temáticas en la investigación forrajera a futuro para las zonas templadas de México a partir del conocimiento actual. En: J.P. Pérez., A.G. Hernández. y A.V. Gómez. (eds.). *Los forrajes en México, presente y futuro*. pp:78-87. Colegio de Posgraduados. Montecillo. Estado de Mexico.
- Mass, E.V. 1986. Salt tolerance of plants. *App. Agric. Res.* 1:12-26
- Méndez-García, T., Rodríguez-Domínguez, L. y Palacios-Mayorga, S. 2000. Impacto del riego con aguas contaminadas, evaluado a través de la presencia de metales pesados en suelos. *Terra* 18: 277-288.
- Miller, D.A. 1996. Allelopathy in forage crop systems. *Agron. J.* 88: 544-559.
- Munn, R. y Termaat, A. 1989. Whole plant response to salinity. *Aust. J. Plant. Physiol.* 13:143-160.

- Nava-Rodríguez, V., Luiselli-Fernández, E., Del Amo, S. 1987. Allelopathic effect of green fronds of *Pteridium aquilinum* on cultivated plants, weeds and phytopathogenic fungi and bacteria. *Agric. Ecosyst. Environ.* 18: 357-379.
- Nimbal, C.I., Yerkes, N., Weston, L.A. y Weller, S.C. 1996. Weed suppressing rice cultivars – does allelopathy play a role? *Weed Res.* 39: 441-454.
- Olofsdotter, M. 2001. Rice -a step toward use of allelopathy. *Agron. J.* 93: 3-8
- Palerm, A. y Wolf, E. 1972. *Agricultura y civilización en Mesoamérica*. Ediciones Guernika, México, D.F. 216 p.
- Parsons, J.J. y Bowen, A.W. 1966. Ancient ridged fields of the San Jorge River floodplain, Colombia. *Geogr. Rev.* 56: 317-343.
- Putnam, A.R. y Duke, W.B. 1974. Biological suppression of weeds: evidence for allelopathy in accessions of cucumber. *Science* 185: 370-372.
- Roder, W., Maniphone, S. y Keoboulapha, B. 1997. Pigeon pea for fallow improvement in slash-and-burn- systems in the hills of Laos. *Agroforestry Systems* 79: 45-57.
- Rodríguez, D.L. 1992. Evaluación de los grados de contaminación del río Atoyac por (Pb, Cr, Co, Cd, Ni, Fe, Cu, Mn, y Zn), surfactantes, boro, grasas y aceites en el transecto Chiautla-Atlixco, estado de Puebla. Tesis de Licenciatura en Biología. UNAM-FES-Zaragoza. México, D.F.
- Ruiz-Figueroa, F.J. 1999. *Tópicos sobre agricultura orgánica*. Tomo I. Consejo Nacional Regulador de Agricultura Orgánica y Universidad Autónoma de Chapingo, Chapingo, Estado de México.
- Sarobol, E. y Anderson, I.C. 1992. *Improving yield of corn-soybean rotation: role of allelopathy*. En: S.J.H. Rizvi and V. Rizvi (eds.). *Allelopathy; Basic and Applied Aspects*. 87-100 p. Chapman and Hall, London.
- SEMARNAT. Secretaría del Manejo de Recursos Naturales. 2002. Conocimiento tradicional asociado a la biodiversidad, conservación, uso sustentable y reparto de beneficios. [http://www.semarnat.gob.mx/internacionales/reunion/doc/Conocimiento\\_tradicional](http://www.semarnat.gob.mx/internacionales/reunion/doc/Conocimiento_tradicional).
- Shrestha, A., Clements, D.R. y Upadhyaya, M.K. 2004. *Weed Management in Agroecosystems: Towards a Holistic Approach*. En: S.G. Pandalai (ed). 451-477 p. *Recent Research Developments in Crop Science*. Vol. I. Trivandrum.

- Tian, G., Kalawold, G.O., Kang, B.T. y Kirchof, G. 2000. Nitrogen fertilizer replacement indexes of legume cover crops in the derived savanna of West Africa. *Plant and Soil* 224: 287-296.
- Toledo, V.M. y Carabias, J. 1985. *Ecología y Autosuficiencia Alimentaria*. Ed. Siglo XXI. México, D.F.
- Thrupp, L. A. 2002. The importance of biodiversity in agroecosystems. *Journal of Crop Improvement* 12: 315-337
- Waller, G.R., Jurzysta, M. y Thorne, R.L. 1993. Allelopathy activity of root saponins from alfalfa (*Medicago sativa* L.) on weeds and wheat. *Bot. Bull. Acad. Sin.* 34: 321-342.
- Waller, G.R., Cheng, C.S., Chang-Hung, C., Kim, D., Yong, C.F., Huang, S.C. y Lin, Y.F. 1995. *Allelopathic activity of naturalling occurring compounds from mung bean (Vigna radiata) and their surrounding soil*. pp: 201-209. En: A. Inderjit, K.M.M. Daskshini y A.F. Einhellig (eds). *Allelopathy: Organisms, Processes and Application*. ACS Symposium Series No 582, American Chemical Society, Washington, D. C.
- Waller, G.R. y Einhellig, F.A. 1999. Overview of allelopathy in agriculture, forestry, and ecology. In: *Biodiversity and Allelopathy: From Organisms to Ecosystems in the Pacific*. (Eds. C.H. Chou, G.R. Waller, and C. Reinhardt). Pp. 221-245. Academia Sinica, Taipei. Taiwan.
- Whetten, N.L. 1950. *The Rise of Middle Class in Mexico*. Panamerican Union. Washington, D.C.
- Wilken, C.G. 1969. Drained-field agriculture: an intensive farming system in Tlaxcala, Mexico. *The Geographical Review* LIX: 215-241.
- Wu, H., Pratley, H., Lemerle, D. y Haig, T. 1999. Crop cultivars with allelopathic capability. *Weed Res.* 39: 171-180