



Organo Científico  
de la Sociedad Mexicana  
de la Ciencia del Suelo A.C.

ISSN 0187-5779

# TERRA

Volumen 14

Octubre - diciembre de 1996

Número 4

DIVISION I

Evolución de la estructura del suelo de la sabana  
de Huimanguillo por cambios en su uso

**V. M. ORDAZ CHAPARRO**

**I. BAROIS**

**N. FEDOROFF**

**357**

Fertilizantes y reguladores del crecimiento en la  
floración, calidad de fruta y estado nutrimental  
del naranjo 'Valencia late' en Veracruz, México

**G. ALMAGUER V.**

**R. MALDONADO T.**

**C. SAUCEDO**

**371**

Fijación de nitrógeno en las formas silvestres de frijol

**J. J. ALMARAZ S.**

**R. FERRERA-CERRATO**

**P. RAMIREZ V.**

**M. L. ORTEGA-DELGADO**

**379**

Fauna del suelo de la Sabana de Huimanguillo alterada  
por cambios en el uso de la tierra

**V. M. ORDAZ CHAPARRO**

**I. BAROIS**

**A. AGUILAR SANTELISES**

**387**

Fertilización y clima en la producción del mango  
'Manila' en Veracruz

**R. LEON-ARTETA**

**J. L. PEREZ M.**

**395**

Evaluación técnica y económica del riego restringido  
en trigo de invierno en el bajo Lerma de Michoacán

**L. M. TAPIA VARGAS**

**B. L. GOMEZ LUCATERO**

**J. J. ALCANTAR ROCILLO**

**407**

DIVISION II

COMISION EDITORA

DR. ANDRES AGUILAR SANTELISES

Editor en jefe

DR. JAVIER Z. CASTELLANOS,

Editor adjunto

DR. GABRIEL ALCANTAR GONZALEZ,

DR. VICTOR M. ORDAZ CHAPARRO,

DR. JUAN JOSE PEÑA CABRIALES,

DR. XAVIER X. UVALLE BUENO

Editores técnicos

M.C. JORGE ALVARADO LOPEZ,

Editor de estilo

EDITORES ASOCIADOS NACIONALES

DR. MANUEL ANAYA GARDUÑO, México

DR. JESUS CABALLERO MELLADO, México

DR. LENOM J. CAJUSTE, México

DR. RONALD FERRERA CERRATO, México

DR. BENJAMIN FIGUEROA SANDOVAL, México

M.C. MARGARITA E. GUTIERREZ RUIZ, México

DR. REGGIE J. LAIRD, México

DR. ANGEL MARTINEZ GARZA, México

DR. ROBERTO NUÑEZ ESCOBAR, México

DR. JOSE LUIS OROPEZA MOTA, México

M.C. CARLOS ORTIZ SOLORIO, México

DR. ALEJANDRO VELAZQUEZ MARTINEZ, México

DR. ENRIQUE PALACIOS VELEZ, México

DR. OSCAR L. PALACIOS VELEZ, México

DR. BENJAMIN V. PEÑA OLVERA, México

DR. ANTONIO TURRENT FERNANDEZ, México

EDITORES ASOCIADOS INTERNACIONALES

DR. EDUARDO BESOAIN M., Chile

DR. WINFRIED E.H. BLUM, Austria

DR. ELMER BORNEMISZA, Costa Rica

DR. LUIS ALFREDO DE LEON, Colombia

DR. HARI ESWARAN, USA

DR. ANTHONY FISCHER, Australia

DR. JUAN F. GALLARDO LANCHO, España

DR. RENATO GREZ Z., Chile

DR. ALBERTO HERNANDEZ, Cuba

DR. JOSE M. HERNANDEZ MORENO, España

DR. ERIC S. JENSEN, Dinamarca

DR. WALTER LUZIO LEIGHTON, Chile.

DR. JOHN T. MORAGHAN, USA

DR. HECTOR J. M. MORRAS, Argentina

DR. CHRISTIAN PRAT, Francia

DR. PARKER F. PRATT, USA

DR. PAUL QUANTIN, Francia

DR. JOSE RODRIGUEZ, Chile

DR. CARLOS ROQUERO, España

DR. KARL STAHR, Alemania

DR. BERNARDO VAN RAIJ, Brasil

DR. RAFAEL VILLEGAS, Cuba

DR. EDUARDO ZAFFARONI, Brasil

CUERPO EDITORIAL ADMINISTRATIVO

DRA. EDNA ALVAREZ SANCHEZ

Distribución

"TERRA", Registro en Trámite. Organó Científico de la Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo, A.C.

Volumen 14-4, octubre-diciembre 1996.

ISSN 0187-5779

Los artículos publicados son responsabilidad absoluta de los autores. Se autoriza la reproducción parcial o total del contenido de esta revista, citándola como fuente de información. Las contribuciones a esta revista deben enviarse, en original y dos copias, redactadas conforme a las Normas para Publicación en la Revista TERRA, al: Editor de la Revista TERRA, Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo, A.C. Apartado Postal 45, 56230 Chapingo, Edo. de México, México.

Oficinas: Edificio del Departamento de Suelos, Universidad Autónoma Chapingo, Chapingo, Estado de México.

Teléfono (595) 460 24 y 422 00 ext. 5237

Fax: (595) 480 76

Artículos Científicos

División I. Diagnóstico, Metodología y Evaluación del Recurso Suelo

Evolución de la estructura del suelo de la sabana de Huimanguillo por cambios en su uso. V.M. ORDAZ CHAPARRO, I. BAROIS Y N. FEDOROFF..... 357

División II. Relación Suelo-Clima-Biota

Fertilizantes y reguladores del crecimiento en la floración, calidad de fruta y estado nutrimental del naranjo 'Valencia late' en Veracruz, México. G. ALMAGUER V., R. MALDONADO T. Y C. SAUCEDO..... 371

Fijación de nitrógeno en las formas silvestres de frijol. J.J. ALMARAZ S., R. FERRERA-CERRATO, P. RAMIREZ V. Y M.L. ORTEGA-DELGADO..... 379

Fauna del suelo de la Sabana de Huimanguillo alterada por cambios en el uso de la tierra. V.M. ORDAZ CHAPARRO, I. BAROIS Y A. AGUILAR SANTELISES..... 387

Fertilización y clima en la producción del mango 'Manila' en Veracruz. R. LEON-ARTETA Y J.L. PEREZ M..... 395

Evaluación técnica y económica del riego restringido en trigo de invierno en el bajo Lerma de Michoacán. L.M. TAPIA VARGAS, B.L. GOMEZ LUCATERO Y J.J. ALCANTAR ROCILLO..... 407

División III. Aprovechamiento del Recurso Suelo

Evaluación de sistemas de labranza y variedades de frijol bajo temporal limitativo. M. BARAY TARANGO, J. RUIZ VEGA, J.V. ROJO SOBERANEZ Y V. VELASCO VELASCO..... 417

Asociación maíz-gandul en los Valles Centrales de Oaxaca. H. A. GRAHAM ARAIZA Y J. RUIZ VEGA. 425

Generación de recomendaciones de fertilización y densidad de plantas para maíz de temporal, mediante métodos determinísticos y no determinísticos. R. CARVALHO DO V., N. ESTRELLA CH., V. VOLKE H., R.J. LAIRD, F. BURGUETE H. Y A. TRINIDAD S..... 431

Ensayos

Análisis de las posibilidades técnicas de la autosuficiencia sostenible de maíz en México. A. TURRENT FERNANDEZ, R. AVELDAÑO SALAZAR Y R. MORENO DAHME..... 445

Desarrollo de agrosistemas sostenibles y el manejo integrado de recursos: el marco conceptual de investigación del CENAPROS. MARIO TISCAREÑO LOPEZ Y R. CLAVERAN ALONSO..... 469

Indice de autores..... 483

Revisores que colaboraron con la revista Terra durante 1996.

Normas para publicación en Terra.

EDITORIAL BOARD

DR. ANDRES AGUILAR SANTELISES

Editor-in-chief

DR. JAVIER Z. CASTELLANOS,

Associate editor

DR. GABRIEL ALCANTAR GONZALEZ,

DR. VICTOR M. ORDAZ CHAPARRO,

DR. JUAN JOSE PEÑA CABRIALES,

DR. XAVIER X. UVALLE BUENO

Technical editors

M.C. JORGE ALVARADO LOPEZ,

Style editor

NATIONAL ASSOCIATE EDITORS

DR. MANUEL ANAYA GARDUÑO, Mexico

DR. JESUS CABALLERO MELLADO, Mexico

DR. LENOM J. CAJUSTE, Mexico

DR. RONALD FERRERA CERRATO, Mexico

DR. BENJAMIN FIGUEROA SANDOVAL, Mexico

M.C. MARGARITA E. GUTIERREZ RUIZ, Mexico

DR. REGGIE J. LAIRD, Mexico

DR. ANGEL MARTINEZ GARZA, Mexico

DR. ROBERTO NUÑEZ ESCOBAR, Mexico

DR. JOSE LUIS OROPEZA MOTA, Mexico

M.C. CARLOS ORTIZ SOLORIO, Mexico

DR. ALEJANDRO VELAZQUEZ MARTINEZ, Mexico

DR. ENRIQUE PALACIOS VELEZ, Mexico

DR. OSCAR L. PALACIOS VELEZ, Mexico

DR. BENJAMIN V. PEÑA OLVERA, Mexico

DR. ANTONIO TURRENT FERNANDEZ, Mexico

INTERNATIONAL ASSOCIATE EDITORS

DR. EDUARDO BESOAIN M., Chile

DR. WINFRIED E.H. BLUM, Austria

DR. ELMER BORNEMISZA, Costa Rica

DR. LUIS ALFREDO DE LEON, Colombia

DR. HARI ESWARAN, USA

DR. ANTHONY FISCHER, Australia

DR. JUAN F. GALLARDO LANCHO, Spain

DR. RENATO GREZ Z., Chile

DR. ALBERTO HERNANDEZ, Cuba

DR. JOSE M. HERNANDEZ MORENO, Spain

DR. ERIC S. JENSEN, Denmark

DR. WALTER LUZIO LEIGHTON, Chile

DR. JOHN T. MORAGHAN, USA

DR. HECTOR J. M. MORRAS, Argentina

DR. CHRISTIAN PRAT, France

DR. PARKER F. PRATT, USA

DR. PAUL QUANTIN, France

DR. JOSE RODRIGUEZ, Chile

DR. CARLOS ROQUERO, Spain

DR. KARL STAHR, Germany

DR. BERNARDO VAN RAIJ, Brazil

DR. RAFAEL VILLEGAS, Cuba

DR. EDUARDO ZAFFARONI, Brazil

EDITORIAL STAFF

DRA. EDNA ALVAREZ SANCHEZ

Distribution

"TERRA", Registration pending. Scientific publication of the Mexican Society of Soil Science. Volume 14-4, October-December 1996.

ISSN 0187-5779

The authors take full responsibility for the articles published. Partial or total reproduction of the content of this journal is authorized, as long as this publication is cited as the information source. When submitting articles to this journal, an original and two copies must be sent to: Editor de la Revista TERRA, Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo, A.C., Apartado Postal 45, 56230 Chapingo, Edo. de México, México.

Office address: Edificio del Departamento de Suelos, Universidad Autónoma Chapingo, Chapingo, Estado de México.

Telephone: +52-595-460 24

Fax: +53-595-48076

Scientific Articles

Division I: Diagnosis Methodology and Evaluation of the Soil Resource

Soil structure evolution as affected by soil use variations at the "Huimanguillo" savanna, Mexico. V.M. ORDAZ CHAPARRO, I. BAROIS AND N. FEDOROFF..... 357

Division II. Soil-Climate-Biota Relationship

Fertilizers and growth regulators in flowering, fruit quality and nutritional status of 'Valencia late' oranges in Veracruz, Mexico. G. ALMAGUER V., R. MALDONADO T. AND C. SAUCEDO..... 371

Soil fauna of the Huimanguillo savanna disturbed by soil use changes. V.M. ORDAZ CHAPARRO, I. BAROIS AND A. AGUILAR SANTELISES..... 387

Nitrogen fixation in wild beans forms. J.J. ALMARAZ S., R. FERRERA-CERRATO, P. RAMIREZ V. AND M.L. ORTEGA-DELGADO..... 379

Fertilization and climate for the production of mango 'Manila' in Veracruz, Mexico. R. LEON-ARTETA AND J.L. PEREZ M..... 395

Technical and economical evaluation of limited irrigation of winter wheat in the Lerma River basin of Michoacan. L.M. TAPIA VARGAS, B.L. GOMEZ LUCATERO AND J.J. ALCANTAR ROCILLO..... 407

Division III. Use of the Soil Resource

Tillage practices and bean varieties under rain-fed conditions. M. BARAY TARANGO, J. RUIZ VEGA, J.V. ROJO SOBERANEZ AND V. VELASCO VELASCO..... 417

Maize-pigeon pea association in the central valleys of Oaxaca. HECTOR A. GRAHAM ARAIZA AND JAIME RUIZ VEGA..... 425

Generation of fertilizer and plant population recommendations for rain-fed maize, using deterministic and non deterministic methods. R. CARVALHO DO V., N. ESTRELLA CH., V. VOLKE H., R.J. LAIRD, F. BURGUETE H. AND A. TRINIDAD S..... 431

Critical reviews

Analysis of the technical possibilities of sustainable self-sufficiency of corn in Mexico. ANTONIO TURRENT FERNANDEZ, RODRIGO AVELDAÑO SALAZAR AND RODOLFO MORENO DAHME..... 445

Development of sustainable agro-ecosystems and the integrated management of resources: the conceptual research framework of CENAPROS. MARIO TISCAREÑO LOPEZ AND RAMON CLAVERAN ALONSO..... 469

Authors index..... 483

## AGRADECIMIENTOS

La Sociedad Mexicana de las Ciencias del Suelo, agradece ampliamente el apoyo brindado por la **Fundación Produce Tabasco, A.C.**, por el financiamiento completo de 1,000 volúmenes de esta revista TERRA, que es el órgano informativo técnico científico de los miembros de la Sociedad Mexicana de las Ciencias del Suelo y que en esta ocasión de manera especial el Gobierno del Estado de Tabasco, que preside el **Lic. Roberto Madrazo Pintado**, nos ha brindado todo su apoyo en virtud de desarrollarse el XXVIII Congreso Nacional de las Ciencias del Suelo en el Estado de Tabasco, entidad tan representativa de las regiones tropicales de México, donde todavía falta mucho por hacer en materia de uso y manejo de suelos, y esta acción seguramente va a contribuir en mucho al desarrollo tecnológico de Tabasco.

Es importante mencionar que la revista TERRA, se nutre de los artículos que presentan nuestros agremiados en los congresos que anualmente se desarrollan en distintos estados de la república, de tal manera, que todos en el congreso del Estado de Tabasco, serán presentados en los números subsecuentes de esta revista.

Por último, nuestro agradecimiento y reconocimiento al C.P. Edgar Méndez Garrido, Director General del **Instituto para el Desarrollo de Sistemas de Producción del Trópico Húmedo de Tabasco**, del Gobierno del Estado, y actual presidente de la **Fundación Produce Tabasco, A.C.** por todas las facilidades brindadas para la edición de la presente revista.

**Sociedad Mexicana de las Ciencias del Suelo.**

Las para la edición de la  
Fundación Produce  
del Tabasco, del  
desarrollo de  
cargar

Mexicana de las Ciencias del Suelo.

# NORMAS PARA PUBLICACION EN TERRA

## TIPOS DE MANUSCRITOS PARA PUBLICACION

La Revista TERRA acepta trabajos en español, inglés, francés y portugués (los idiomas que se hablan en América), sobre temas relacionados con la ciencia del suelo y el agua. Estos pueden ser artículos científicos, notas de investigación, ensayos o revisiones de literatura, cartas al editor, y reseñas de libros.

Se entiende por artículo científico aquél basado en un trabajo de investigación en que se ha aplicado en forma rigurosa el método científico y se ha estudiado el efecto que tienen diferentes tratamientos sobre la respuesta medible de un sistema, como metodología para comprobar o rechazar una hipótesis claramente establecida como objetivo del trabajo.

Las notas de investigación son artículos basados en trabajos experimentales que presentan aspectos metodológicos novedosos, o resultados que el autor quisiera publicar antes que finalice su investigación.

Los ensayos o revisiones de literatura son artículos basados en una recopilación de artículos científicos o informes de investigación, en los que el autor aporta su opinión personal sobre el tema y establece conclusiones respecto al estado actual del conocimiento sobre el mismo.

TERRA publicará en la sección cartas al editor, aquéllas que juzgue convenientes, las cuales deben contener opiniones o comentarios debidamente argumentados. Esta sección tiene por objeto fomentar la discusión sobre temas publicados en sus páginas o de interés para la comunidad científica nacional.

La reseña de libros es una sección destinada a dar a conocer la obra, particularmente de autores mexicanos e iberoamericanos, que sea de interés para los científicos del suelo.

La Revista TERRA acepta colaboraciones de los miembros de la Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo, así como de otras personas que deseen publicar sus trabajos en ella. Los trabajos que se envíen deberán ceñirse a estas normas para publicación y estarán sujetos a revisión por el Comité Editorial o por quien éste designe, antes de su publicación.

## CONTENIDO DEL MANUSCRITO

Los artículos científicos y las notas científicas que se presenten deberán constar de las siguientes partes: 1) título, título en inglés; 2) autor(es); 3) institución(es) del trabajo y dirección de los autores; 4) resumen; 5) palabras clave; 6) summary; 7) index words; 8) introducción; 9) materiales y métodos; 10) resultados y discusión; 11) conclusiones y 12) literatura citada. El Comité Editorial podrá aceptar algunas modificaciones a esta estructura, cuando el tenor del texto así lo aconseje.

Los ensayos o revisiones de literatura deberán constar de las siguientes partes: 1) título, título en inglés; 2) autor(es); 3) institución donde se desarrolló el trabajo; 4) resumen; 5) palabras clave; 6) summary; 7) index words; 8) introducción; 9) desarrollo del tema, con los subtítulos que se estimen convenientes; 10) discusión, cuando proceda; 11) conclusiones y 12) literatura citada.

Las cartas al editor y las reseñas de libros no tienen un formato definido, pero no deberán exceder de dos cuartillas a máquina y a doble espacio.

## FORMATO DEL MANUSCRITO

Los trabajos deben enviarse con original y dos copias, mecanografiados en papel tamaño carta a doble espacio, dejando márgenes de 2.5 cm en los cuatro costados y con las líneas numeradas. Las páginas, incluyendo los cuadros y las figuras, se numerarán progresivamente. El texto no deberá exceder 20 páginas, aunque la extensión ideal es de 15 para un artículo científico y de 8 para una nota científica. Cada cuadro o figura se incluirá en una hoja aparte con su correspondiente número de identificación con lápiz de grafito suave en el reverso. Las leyendas correspondientes se mecanografiarán en una hoja aparte. Los cuadros y las figuras contendrán sólo la información esencial y en ningún caso repetirán los datos que se presenten en otra forma. Las unidades que se empleen serán las del Sistema Internacional de Unidades. Los manuscritos deberán entregarse también en un disquete de 3.5" en procesador Word para Windows de la versión más reciente.

**Citas en el texto.** Las citas en el texto se harán de acuerdo con la forma en que participan éstas en la oración. Se seguirán las siguientes reglas: 1) se citará el apellido principal del(los) autor(es) y el año, cuando se trate de uno o dos autores, y el apellido principal del primer autor seguido de *et al.* y el año cuando se trate de tres o más autores; 2) las citas, cuando más de una, se colocarán en orden alfabético; 3) cuando el nombre del(los) autor participa en la oración se colocará el apellido principal seguido del año entre paréntesis, ejemplo: Martínez (1982) observó que..., Carrasco (1983) y Merino (1984) encontraron gran diferencia.; 4) cuando la cita se agrega al final de la oración los nombres de los autores y el año se colocarán entre paréntesis separados por una coma, ejemplo: al final de la cosecha (Martínez, 1982) o (Carrasco, 1983; Merino, 1984) o (Bravo *et al.*, 1979); 5) cuando el autor tiene más de una publicación en un año se adiciona a este a, b, c, ejemplo: (Moreno, 1984a) o (Moreno, 1984b); 6) las comunicaciones personales se citarán sólo en el texto, ejemplo: (R. Nuñez E., 1984 Comunicación personal); 7) las citas que no aparezcan en la literatura citada, por ser documentos de circulación restringida y no sean comunicaciones personales, se colocarán como notas al pie de página, siguiendo la numeración progresiva correspondiente.

**Literatura Citada.** Para confeccionar la lista de citas de literatura se seguirán las normas que se detallan con ejemplos a continuación.

1. Caso de artículos en revistas seriadas, ejemplo:  
 Núñez E., R., A. Trinidad S. y J.J. Martínez H, 1984. Efecto del estiércol de vacuno en la producción de maíz. *Agropecuaria Técnica* 54: 385-388.

Obsérvese que la inicial del nombre propio se ha trasladado al final de los apellidos sólo para el caso del primer autor, y que se ha mantenido la inicial del segundo apellido y del nombre propio en el lugar que corresponde en el resto de los casos. Es común que los nombres ingleses se escriban con dos nombres personales y un apellido; ejemplo: L.J. Brown, el cual se citará en caso de ser primer autor como Brown, L.J. y como L.J, Brown en todos los demás.

2. Caso de artículos en una publicación colectiva no periódica con o sin editor, ejemplo:

a) con editor  
 Turrent F., A. 1984. Los agrosistemas del trópico. pp. 315-328. *In: E. Hernández X. (Ed.). Los sistemas agrícolas de México, Colegio de Postgraduados, Chapingo, México.*

b) sin editor

Cortés F., J. I. 1984. El manejo de los frutales en zonas frías. pp. 181-192. *In: La fruta y su perspectiva en México.* CONAFRUT. Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos. México, D.F.

3. Caso de los boletines técnicos u otras publicaciones seriadas no periódicas, ejemplo:

Clement, H.F. 1952. Factors affecting the growth of sugarcane. Univ. Hawaii Agr. Exp. Sta. Tech. Bull. 18.

4. Caso de los libros, ejemplo:

Jackson, M.L. 1964. *Análisis químico de los suelos.* Traducción al español de J. Huerta. Editorial Omega, Barcelona, España.

Zamudio H., B. 1970. *Las especies latifoliadas del Cono Sur.* 2a. edición. Editorial Inca. Lima, Perú.

5. Otras publicaciones, ejemplo:

Cavazos L., A. 1971. Efecto de la pendiente en la pérdida de suelo por erosión hídrica. Tesis de Maestría. Colegio de Postgraduados, Chapingo, México.

La lista de citas se confeccionará en orden alfabético., con sangría francesa de 0.6 cm exceptuando el nombre del autor, con tipo de letra TIMES NEW ROMAN 9, sólo se incluirá en ella los trabajos citados en el texto.

### Otros Aspectos del Manuscrito

A continuación se dan algunas indicaciones acerca de los cuidados y consideraciones que hay que tomar en cuenta para la elaboración de las figuras, cuadros, mapas, etc. Los cuadros y las figuras se emplean para reemplazar al texto, cuando el contenido de estos no puede expresarse claramente con palabras o su uso contribuye a un ahorro importante de espacio. Los cuadros y las figuras deben ser claros, simples y concisos. Para ello es necesario seleccionar los datos de modo que se presenten sólo aquéllos que se emplearán para hacer énfasis en algún aspecto o que expliquen otros. Los datos deben ordenarse en una forma tal que sean fáciles de interpretar.

En el pie de cuadro se incluirán las llamadas que sean pertinentes. Los asteriscos se reservarán para indicar significación a 5% (\*) y 1 % (\*\*), respectivamente. Se recomienda el uso de numerales progresivos para las llamadas.

Los cuadros deben tener tres líneas horizontales continuas: al inicio del cuadro, al inicio del campo del cuadro, no en el encabezamiento. El campo y el encabezamiento de las columnas se pueden dividir a conveniencia del autor. No se deben añadir líneas verticales. Los encabezamientos, de columnas y

líneas, se describirán con minúsculas, excepto la primera letra de la oración. Se empleará sólo el número de cifras significativas necesarias para destacar el punto que se desee. Los cuadros no podrán ser mayores de una página tamaño carta, considerando los márgenes antes señalados.

Los mapas y las figuras deben dibujarse en tinta china sobre papel albanene o papel dibujo de buena calidad. No deben exceder las dimensiones de una página tamaño carta. La leyenda debe ser con letras y números lo suficientemente grande (con minúscula excepto la primera letra, como para que puedan leerse al ser reducidos, al igual que el grosor de los ejes y líneas interiores. En una figura lo que interesa destacar es el contenido y no los ejes. Consecuentemente, el grosor de estos últimos tiene que ser menor que el de las líneas interiores. Los puntos experimentales deben marcarse visiblemente.

Para dividir los ejes se deben escoger intervalos constantes para cada uno.

Los mosaicos fotográficos deben entregarse montados en hojas de papel, totalmente terminados, con leyenda y numeración. El aumento de las microfotografías debe indicarse en la leyenda.

**Agradecimientos.** Podrán incluirse al final del texto, esto es, después de las conclusiones y antes de la literatura citada.

#### **Información adicional.**

Para mayor información sobre la preparación de manuscritos se recomienda consultar las notas que nuestro editor de estilo publica periódicamente en la revista y el siguiente libro: Alvarado López J. 1995. Redacción y preparación del artículo científico. Publicación especial 2. Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo.

## Especificaciones para el Formato

**Título.** El título se escribirá con mayúsculas, al inicio, centrado, con negritas y tipo de letra TIMES NEW ROMAN 14, se colocará su traducción al inglés debajo del título en español. El título en inglés se escribirá con minúsculas, excepto la primera letra de cada palabra, centrado, con negritas y tipo de letra TIMES NEW ROMAN 12.

**Autores.** Se incluirá el nombre del autor o autores en la manera en que éstos acostumbran escribirlo en sus publicaciones. No se usarán títulos ni grados. La primera letra del nombre y apellidos se escribirán con mayúsculas. Los nombres de los autores se separarán por comas, se centrarán, con negritas, tipo de letra TIMES NEW ROMAN 12, a un espacio después del título en inglés.

**Institución(es) patrocinadora(s) y dirección de los autores.** El objetivo de esta parte del artículo es dar el crédito respectivo a la institución que patrocinó el trabajo y que los lectores puedan contactar a los autores en caso necesario; la dirección postal debe quedar claramente especificada. Esta identificación se escribirá con minúsculas, excepto las siglas, debajo de los autores, centrado y con tipo de letra TIMES NEW ROMAN 11.

**Notas al pie de página.** Se podrán utilizar, cuando sea necesario para identificar información adicional; se numerarán progresivamente a través de todo el texto. Deberán emplearse sólo cuando sea imprescindible.

**De la forma de titular.** Los títulos tienen diversos órdenes y señalan automáticamente la posición de una parte del artículo dentro de éste.

**Título de primer orden.** Es el título principal del artículo.

**Título de segundo orden.** A este tipo corresponden las diferentes partes del artículo; Resumen, Summary, Introducción, etc. Se escriben con mayúsculas, centrados, con negritas, (TIMES NEW ROMAN 11).

**Títulos de tercer orden.** Se escriben al margen izquierdo, con minúsculas, excepto la primera letra de las palabras, en negritas, con espacios sencillos después del último texto escrito y del que continúa.

**Títulos de cuarto orden.** Se escriben al margen izquierdo, con negritas, con minúsculas excepto la primera letra, con punto, seguido de texto. Sin numeración.

**Resumen.** Esta sección debe sintetizar, en aproximadamente 300 palabras, los aspectos más importantes del trabajo, esto es, su motivación, importancia, método experimental (cuando corresponda) y las conclusiones más importantes.

**Palabras clave.** Se colocan a un espacio debajo del resumen al margen izquierdo. El término "palabras clave:" se escribe con letra TIMES NEW ROMAN 11, con negritas y las palabras clave con el mismo tipo de letra pero cursivas, sin negritas. Ejemplo:

**Palabras clave:** *rizósfera, agroquímicos.*

**Summary.** Se siguen las mismas normas que para el resumen en español.

**Index words.** Se seguirán las instrucciones dadas para palabras clave.

**Introducción.** En esta sección se indica la motivación, la importancia y los objetivos del trabajo que llevan implícitas las hipótesis del mismo. Contiene, además, los aspectos más relevantes del tema tratados por otros autores e identificados en la revisión de literatura. La introducción no debe exceder tres cuartillas a doble espacio.

**Materiales y Métodos.** Esta sección debe describir las características relevantes de los materiales usados en el estudio y los métodos experimentales empleados. Se le debe dar particular importancia a la descripción del método experimental utilizado para lograr los objetivos planteados. Debe mostrar concordancia plena con las hipótesis.

**Resultados y Discusión.** Aquí se incluyen los resultados obtenidos en la investigación. Estos se presentarán en forma de texto, cuadros, o figuras, éstos últimos no deberán duplicar la información presentada en el texto. La información presentada en cuadros y figuras tampoco deberá duplicarse, e incluirá resultados que puedan ser fácilmente calculables. En la discusión se resaltarán los principios más importantes y las relaciones causa-efecto derivadas del análisis de los resultados. Además, se deberá explicar, en función de las observaciones hechas, el porqué de lo observado. Los resultados obtenidos se compararán con los de otros investigadores y se señalarán las divergencias y las semejanzas.

**Conclusiones.** Las primeras conclusiones que se presenten deben ser aquellas correspondientes a los objetivos planteados. Se pueden incluir, además, otras conclusiones relevantes y recomendaciones que emanen del trabajo.

# EVOLUCION DE LA ESTRUCTURA DEL SUELO DE LA SABANA DE HUIMANGUILLO POR CAMBIOS EN SU USO

Soil Structure Evolution as Affected by Soil Use Variations at the Huimanguillo Savanna, Mexico

Víctor M. Ordaz Chaparro<sup>1</sup>, Isabel Barois<sup>2</sup> y Nicolas Fedoroff<sup>3</sup>

## RESUMEN

Las praderas de la sabana de Huimanguillo, Tabasco, originalmente selva tropical, en los últimos 15 años se han transformando a plantaciones extensivas de cítricos. El cambio de uso del suelo de forestal a pecuario y finalmente a uso agrícola produjeron diferentes cambios en el medio edáfico y en particular en las propiedades físicas. Para estudiar este impacto se seleccionaron ocho sitios de muestreo, distribuidos en áreas de selva, potrero y plantaciones de cítricos de tres edades diferentes; en cada uno de ellos se realizó un estudio morfológico del suelo a diferentes escalas de observación. Los resultados obtenidos ponen en evidencia el origen biológico de la estructura del suelo y su degradación paulatina por efectos del manejo.

**Palabras clave:** *Microestructura, micromorfología, acrisoles, cítricos.*

## SUMMARY

The prairies of the Huimanguillo savanna, Tabasco, originally a tropical forest, have been transformed into extensive citrus plantations during the last 15 years. The changes in soil use, from forest to prairie and finally to agricultural land, produced different variations in the soil environment, especially in soil physical properties. In order to study this impact, eight sampling sites were selected from forestall areas, pasture grounds, and citrus plantations at three different growth stages. At each site, a soil

<sup>1</sup> Colegio de Postgraduados en Ciencias Agrícolas, carr. México- Texcoco km 36.5, 56230 Montecillo, Estado de México, México.

E-mail: ordaz@colpos.colpos.mx

<sup>2</sup> Instituto de Ecología, Apartado Postal 63, 91000 Xalapa, Veracruz, México.

<sup>3</sup> Institut National Agronomique Paris Grignon, 78850 Thiverval, France.

Aceptado: Septiembre de 1996.

morphological study was carried out at different observation scales. Results evidence the biological origin of soil structure and its degradation as a consequence of management practices.

**Index words:** *Microstructure, micromorphology, acrisols, citrus.*

## INTRODUCCION

El uso y manejo de los suelos tiene influencia directa sobre sus propiedades físicas y sobre las poblaciones que en él se desarrollan. A finales del siglo XIX, surgió la idea de que el suelo debería ser considerado como una formación natural con evolución propia, se afirmaba que después del clima y la roca madre, eran la flora y la fauna el tercer factor de evolución. Después venía la topografía y posteriormente situaban al tiempo. Por largos periodos la descomposición de los desechos vegetales fue atribuido a los factores físicos y químicos. La reacciones de oxidación y de hidrólisis eran entonces suficientes para explicar la formación del humus y la mineralización de los compuestos orgánicos.

En la actualidad se sabe que el desarrollo del suelo está ligado a la estabilidad de los ecosistemas. El manejo de los suelos transforma, en periodos relativamente cortos, la naturaleza del mismo y de las poblaciones bióticas que sustenta. Un ejemplo es la sabana de Huimanguillo del estado de Tabasco, México, la que ha estado sometida a un sistema tradicional de "roza - tumba - quema" desde el siglo XVI, costumbre que se practica en la actualidad. Cada año en la estación seca los productores prenden fuego a los potreros para eliminar las malas hierbas y favorecer los nuevos rebrotes. Esta acción aparentemente favorece la producción de forraje pero altera el equilibrio ecológico y es considerada como la principal causa para atribuir al origen antropogénico a la sabana (Cisneros, 1983; Sánchez, 1990)

En los últimos quince años las praderas de la sabana de Huimanguillo, dedicadas por mucho tiempo a la ganadería extensiva, han venido cambiando su uso

pecuario al uso agrícola, principalmente a la producción de cultivos extensivos perennes. En 1982, la producción de cítricos en el estado de Tabasco era el quinto cultivo perenne, con una expansión anual del orden de 1500 a 2000 hectáreas. En 1989, la superficie destinada a este cultivo era de 11 626 ha, de las cuales 76 % la ocupaban los naranjos destinados a la producción de jugo. Esta expansión se localiza principalmente en el área de sabana (DIPAFF-SD, 1989).

En las regiones tropicales, el reciclaje de la materia orgánica es muy rápido y su acumulación reducida. La modificación del horizonte superficial debido a la pérdida del suelo por erosión, a la disminución en el aporte de la materia orgánica y a la monocultura, es un proceso inicial e irreversible de degradación del suelo. Uno de los indicadores para identificar y evaluar este proceso de degradación es la estructura.

El objetivo del presente estudio fue identificar las transformaciones estructurales del suelo de una sabana tropical, después de haber cambiado del uso forestal al pecuario y finalmente al uso agrícola.

## MATERIALES Y METODOS

La sabana de Huimanguillo está situada al sur-este de México, es parte de la planicie litoral del Golfo de México, con altitudes promedio de 15 metros. El clima es cálido húmedo con lluvias en otoño, del tipo Am(w) (García, 1973); la precipitación media anual es de 2421 milímetros. Comprende una superficie de 140 000 ha, el uso principal del suelo es pecuario (80 %), mientras que la superficie destinada a la agricultura es de 9 %. Los suelos son ácidos de baja fertilidad y fuertemente desaturados, con una alta presencia de una sola unidad: "Acrisoles" (FAO/UNESCO, 1988). La vegetación primaria de la sabana corresponde a una asociación de selva alta perenne y selva media subperenne (West *et al.*, 1987). Existen en la actualidad pequeñas áreas con esta vegetación primaria (reliquios de selva), distribuidas por toda la sabana.

El estudio estructural del suelo se llevó a cabo en una misma unidad de suelo, Acrisol plíntico, sometido a tres usos distintos: forestal, pecuario y agrícola. Se seleccionaron ocho sitios de muestreo, localizados en un transecto norte-sur de cuatro kilómetros:

el primer sitio, correspondió a un relicto de selva inalterada cuando menos en los últimos cien años (comunicación personal de productores); el segundo, a un potrero sometido a la explotación de ganadería extensiva (bovinos), típico de la región; los seis sitios restantes, fueron seleccionados en plantaciones de cítricos (naranjos) de dos, cinco y diez años de edad, con dos lugares de observación por huerta, uno bajo los árboles (sombra) y otro entre dos hileras de ellos (calles).

La descripción de perfiles se hizo siguiendo la metodología propuesta por la Soil Survey Staff (1975). La dinámica estructural se estudió mediante la interpretación micromorfológica de láminas delgadas de gran dimensión (13.5 x 6.5 cm), obtenidas de muestras de suelo no perturbadas, provenientes de la superficie y de los subhorizontes de los perfiles abiertos en cada uno de los ocho sitios. La preparación de las muestras y la fabricación de las láminas delgadas se realizó siguiendo la metodología propuesta por Guillore (1987).

Se elaboraron un total de 39 láminas delgadas, cada una fue primero estudiada con la lupa binocular y después con un microscopio de luz polarizada a diferentes aumentos. Para la descripción de los rasgos pedológicos y la agregación se siguió la metodología propuesta por Bullock *et al.* (1985).

## RESULTADOS Y DISCUSION

### Características Morfológicas del Suelo

La morfología de los suelos fue estudiada a través de las observaciones *in situ* en cada perfil, su descripción se expone a continuación:

**Perfil del sitio selva.** Fue situado en un relicto de selva rodeado de potreros, a un kilómetro de un arroyo temporal. La vegetación es del tipo perenne tropical húmeda. Los grandes árboles de interés comercial fueron ya explotados.

Se identificaron dos horizontes (A y B), éstos, a su vez, se subdividieron en cinco subhorizontes: A1 (0 a 35 cm), A2 (35 a 55 cm), B1 (55 a 80 cm), B21tg (80 a 110 cm) y B22tg (110-150 cm). Las características más sobresalientes del perfil fueron la transición bien delimitada de los horizontes y la presencia de motas de color amarillo-rojizas (5YR 5/6), a partir de los 55 cm

de profundidad. En la superficie, el suelo está recubierto de una capa de mantillo de 5 cm de espesor, con desechos vegetales aún intactos; sustenta una vegetación herbácea, densa y de pequeña talla. Los primeros tres subhorizontes son de textura migajón-arenosa y de estructura grumosa a prismática débilmente desarrollada, predominan los colores oscuros (10YR 2/1 a 10YR 5/8), las raíces disminuyen su diámetro y cantidad a los 70 cm de profundidad. En los subhorizontes A2 y B1 se observaron canales formados probablemente por viejas raíces o por la actividad de la fauna.

Los subhorizontes B21tg y B22tg presentan una textura arcillo-arenosa con estructura masiva, colores que van del pardo amarillento (10YR 6/8) al pardo muy claro (10YR 7/3), la capa freática se presentó a 150 cm de profundidad.

**Perfil del sitio potrero.** Se situó dentro de un rancho ganadero dedicado a la producción extensiva de bovinos después de varias generaciones. La vegetación herbácea está dominada por *Paspalum*, *Andropogon bicornis*, *Axonopus* y *Panicum*. Se identificaron dos horizontes (A y B), subdivididos en cuatro subhorizontes: Ap (0 a 30 cm), A1 (30 a 50 cm), B1 (50 a 60 cm) y B2tg (60 a 90 cm). En la superficie, las gramíneas forman una capa densa que impide que el suelo quede descubierto; los tres primeros subhorizontes presentan una textura migajón-arenosa con estructura grumosa a prismática débilmente desarrollada pero coherente, de color oscuro (10YR 2/1) a pardo amarillento (10YR 5/8). La densidad de raíces finas disminuye con la profundidad y desaparece a 60 centímetros. Los primeros 50 cm presentan poros en forma de canales, aparentemente cerrados. A partir de 50 cm existen motas de color amarillo-rojizas 5YR 5/6 que se intensifican con la profundidad.

El subhorizonte B2tg presenta una textura arcillo-arenosa con estructura masiva, revestimientos arcillosos difusos, el color cambia de pardo amarillento (10YR 6/8) a pardo muy claro (10YR 7/3). La capa freática fue observada a 90 centímetros.

**Perfiles de plantaciones.** Los perfiles correspondientes a las plantaciones de cítricos de 2, 5 y 10 años de edad fueron localizados en un mismo predio donde se ha establecido el mismo manejo. Es importante remarcar que se trata de un área originalmente forestal que pasó

al uso pecuario, sin que se haya podido precisar el tiempo y la época de transición; en la actualidad, su uso es agrícola, con huertas de diferentes edades. En estas plantaciones existe en la superficie del suelo una marcada diferenciación en la zona de sombra de los árboles y en las calles. En el área de sombra, el suelo se encuentra desnudo debido al control químico de malezas, en los perfiles situados entre dos hileras de árboles (calles) el suelo permanece siempre cubierto por hierba de talla pequeña y pasto, en esta área las huellas de la maquinaria son muy marcadas, sobretodo en las plantaciones de cinco y 10 años. La descripción de los perfiles muestra una homogeneidad en sus características. Todos están constituidos de dos horizontes (A y B) y subdivididos en cuatro subhorizontes con profundidades variables: Ap (0 a 20 a 0 a 32 cm), A2 (20 a 42 a 32 a 60 cm), B1 y B2tg (> 60 cm). En la sombra de los árboles de las huertas de cinco y 10 años, el suelo permanece desnudo con algunos frutos y hojas caídos en estado de descomposición; en todas las huertas se observa una fuerte cantidad de turrículos (excreciones) de lombrices de tierra. Los tres primeros subhorizontes presentan una textura migajón-arenosa, con estructura (en la superficie) grumosa muy desarrollada con grandes agregados muy coherentes, a mayor profundidad la estructura cambia a prismática débilmente desarrollada pero coherente; los colores son oscuros (7.5YR 2/0) a pardo amarillentos (10YR 6/8); muy porosos en la superficie a escasamente porosos en profundidad, con poros en forma de canales cerrados. Los subhorizontes B2tg presentan una textura arcillo-arenosa con estructura masiva, de color pardo claro 10YR 8/4, con manchas frecuentes amarillo rojizas 5YR 5/6. Los perfiles localizados en la sombra de los árboles son comparables entre sí a excepción del perfil situado en la huerta de cinco años, éste presenta características de hidromorfismo menos marcado (matriz más roja y manchas rojo amarillentas relativamente difusas).

Los perfiles de las calles difieren de los situados en la zona de sombra por:

1. una relativa porosidad cerrada del subhorizonte Ap;
2. la ausencia de raíces de los árboles y sólo la presencia de raíces de gramíneas y otras especies herbáceas;
3. bajo la cobertura herbácea se desarrolla una capa de pequeñas costras endurecidas que impiden la infiltración del agua.

### Características Micromorfológicas del Suelo

El conjunto de muestras obtenidas en la zona de estudio resultaron con una gran homogeneidad, criterio que fue obtenido de las observaciones hechas en las descripciones de perfiles y del resultado del trabajo de Ordaz (1995), sobre homogeneidad de los suelos de la sabana de Huimanguillo. Por esta razón, las descripciones microscópicas que se han realizado no son reportadas de una forma sistemática para cada perfil.

El perfil situado en la selva será tomado como referencia de un estado inicial, con el cual compararemos primero el perfil situado en potrero y después a los perfiles de las plantaciones.

**Los materiales parentales.** Fracción gruesa, está esencialmente constituida (en orden de abundancia) por granos de cuarzo, de fragmentos minerales opacos y de residuos de disolución de carbonatos, así como de algunos granos de minerales resistentes a la alteración como la hiperstena. Cuatro clases granulométricas se distinguieron: (1) las gravas; (2) las arenas gruesas (200 a 500  $\mu\text{m}$ ); (3) las arenas finas (100 a 200  $\mu\text{m}$ ) y (4) los limos gruesos y medianos (20 a 100  $\mu\text{m}$ ). Las transiciones entre clases son progresivas, excepto para las gravas que constituyen una clase granulométrica individual. La transición con la fracción fina es relativamente clara. La abundancia de la fracción gruesa, y de las otras clases, varía sensiblemente en una proporción que no rebasa 10 % de un subhorizonte al otro, y aún menos variación se identifica entre sitios. Las gravas son redondeadas, constituidas principalmente por fragmentos de cuarzo y por granos (gruesos y finos) de rocas metamórficas con fisuras rellenas de óxidos de hierro. Las arenas son de origen cuárcico, fuertemente corroídas, de formas sub-redondeadas, angulosas irregulares y rugosas. Las formas angulosas y la rugosidad aumentan con la disminución del tamaño.

La fracción fina de los horizontes B de todos los sitios, está caracterizado por:

- 1) un color que varía del amarillo al gris;
- 2) la presencia (escasa) de laminillas micáceas de birrefringencia variable;
- 3) fragmentos muy finos (descritos en lo sucesivo como polvos), constituidos principalmente de partículas ferruginosas, carbonosas y de minerales con fuerte relieve;

4) muestra una débil isotropía que se incrementa con los aumentos de observación, una birrefringencia finamente ligada a los espacios gris-negros resultado de pequeños dominios redondeados (10 a 20  $\mu\text{m}$ ) dispuestos al azar. El color amarillo tiende a cambiar a gris con la profundidad.

En el perfil ubicado en la huerta de cinco años, la fracción fina es rojo amarillenta. Su abundancia se incrementa en todos los perfiles con la profundidad, y varía de un perfil al otro en una proporción máxima de 10 %.

**Los materiales parentales volcánicos.** Fueron observados sólo en los subhorizontes superficiales (Ap/A1) de todos los sitios. Son más abundantes en los primeros centímetros del perfil del sitio selva (4 a 5 %) y se encuentran compactados libremente entre los agregados, en los otros sitios su abundancia disminuye (1%) y se observan en el interior de los agregados. Estos materiales volcánicos están constituidos de vidrio volcánico en forma de granos sub-redondeados (200 a 300  $\mu\text{m}$ ), los granos más gruesos (hasta 1 mm) contienen cristales de hornblenda y plagioclasa (se observan también aislados y no presentan algún signo de alteración). En la base de los subhorizontes A1 y A2 se distinguieron algunos granos de vidrio volcánico muy alterado.

**Variaciones de los caracteres de la fracción fina y la microestructura de los subhorizontes profundos.** Se identificaron las variaciones de los caracteres de la fracción fina utilizando, por un lado, el color y la presencia de pequeños minerales aislados (povos), por otro lado, el tipo de microestructura; de esta forma fueron identificadas las organizaciones siguientes:

- 1) estructura masiva y fracción fina hialina gris clara, con fragmentos de algunos milímetros dispersos al azar en los subhorizontes Btg. Este tipo de organización masiva puede encontrarse incluso bajo forma fisurada dentro de una impregnación ferruginosa donde los óxidos de hierro tapizan las fisuras (por ejemplo, el subhorizonte Btg del perfil de la plantación dos años);
- 2) cavidades policóncavas ramificadas, raramente comunicadas con la fracción fina, de color gris, medianamente empolvada. Las micropartículas (povos) que contienen están constituidas por fragmentos pardos ferruginosos y opacos, carbonosos, con límites bien definidos. Este tipo de organización microestructural caracterizan al subhorizonte Btg del perfil selva;

3) canales con raíces en diversos estados de descomposición, desde los canales intactos hasta las cavidades residuales policóncavas; fracción fina de color amarilla con poca abundancia de minerales pequeños descritos hasta ahora como polvos, micromanchas ferruginosas de color pardo claro con límites relativamente difusos. Este tipo de organización microestructural caracteriza al subhorizonte Btg del perfil del sitio potrero;

4) organización con numerosos canales en diversos estados de deformación, unos con raíces y otros colmados por desechos fecales; fracción fina de color pardo amarillento fuertemente empolvada; el material fecal presenta todos los estados de dispersión dentro la matriz, desde el estado inicial de relleno de un canal hasta un fragmento apenas distinguible, incluso dentro de la matriz. Este tipo de organización microestructural caracteriza al subhorizonte B1 del perfil potrero;

5) organización con numerosos canales y fracción fina pardo-rojiza, los canales están también en diversos estados de deformación, existen igualmente algunas fisuras sinuosas. Este tipo de organización microestructural caracteriza al subhorizonte Btg del perfil de la plantación de cinco años.

Las organizaciones anteriores de 2 a 4, corresponden a estados de hidromorfismo decreciente y de prospección de más en más intensa por la fauna del suelo. La Organización 5 caracteriza al sitio de la plantación de cinco años, donde los suelos son menos hidromórficos que en los otros sitios. Esta organización puede ser subdividida de acuerdo con el grado de penetración de los materiales fecales de la fauna del suelo.

**Rasgos y organizaciones ferruginosas.** Fueron reconocidas dos grandes tipos:

1) nódulos redondeados, rojos muy oscuros, de 1 a 10 mm de diámetro, impregnando diversos materiales hospederos, de origen variable en relación con el material adyacente, por ejemplo, fragmentos de rocas alteradas, carbón de madera, una organización arcillosa hidratada aislada. Su límite con el material adyacente puede ser abrupto o se presenta por la intermediación de una banda pardo-amarillenta. Estos nódulos fueron observados únicamente en los perfiles de los sitios ubicados en el potrero y la plantación de dos años, en los subhorizontes A2 y al principio del B están inmersos en las manchas ferruginosas de forma amiboidal. Su abundancia es de 2 a 5 %, distribuidos aleatoriamente;

2) manchas amiboidales formando un receptor reticulado de color rojo muy oscuro, de 10 mm de largo en promedio, impregnando siempre el material hospedero y el material adyacente (Foto 1). El grado de impregnación varía de una opacidad completa a una impregnación media, siempre irregular. El contraste con el material adyacente depende del color de este último, entre más es de color gris (perfil del sitio selva) más marcado es el contraste (perfil de la plantación de cinco años) y las manchas son menos fragmentadas. La transición con el material adyacente es muy marcada, se hace por intermediación de una faja pardo-amarillenta. Estas manchas caracterizan al subhorizonte Btg; aparecen a 50 cm de profundidad y se desarrollan plenamente a 60 centímetros. Pueden ocupar una pequeña superficie (perfiles de las plantaciones de cinco y 10 años) o hasta 30 ó 40 % (perfiles selva, potrero y plantación de dos años). Existe una alta relación entre la abundancia de manchas ferruginosas, su grado de ferruginización, su fragmentación y el color de la fracción fina de la matriz adyacente. En la parte superior de los subhorizontes Btg de los perfiles donde el cambio de los subhorizontes hidromórficos es gradual (perfiles de las plantaciones de dos y cinco años), la matriz del suelo es de color pardo a pardo-rojiza y los rasgos ferruginosos son poco abundantes, difusos y tienden a desaparecer en la matriz en forma de fragmentos. Se observa en los perfiles citados, impregnaciones ferruginosas en los canales colmatados, con formas parcialmente convexas.

**Rasgos texturales.** Están constituidos de partículas de arcillas de hasta 5  $\mu\text{m}$ , de color amarillo claro a verde oliva, con birrefringencia débil y de extinción progresiva, se presentan en manchas medianamente abundantes, contienen localmente algunos gránulos ferruginosos. Su localización más frecuente es en la masa basal, un poco deformadas e intercaladas, también tapizando pequeñas cavidades policóncavas (Foto 2). Estos rasgos son sobretodo abundantes en la base del subhorizonte Btg (a partir de 110 cm de profundidad) del perfil selva, donde su abundancia se estima en 5 %, mientras que en otros perfiles (localizados en el potrero o en las plantaciones) son más raros y no sobrepasan 1 %. Es necesario aclarar que, debido a la presencia del manto freático, algunos perfiles no fueron muestreados a profundidades mayores que 100 centímetros.

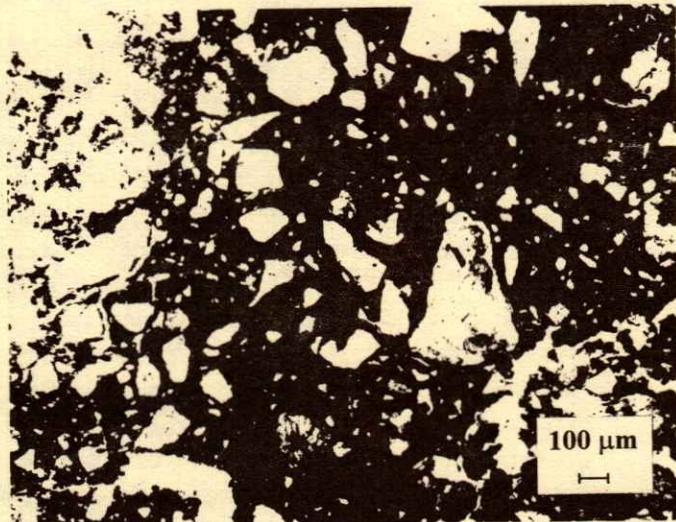


Foto 1. Manchas ferruginosas, amiboidales. Sitio selva, subhorizonte B1, 55-80 cm.

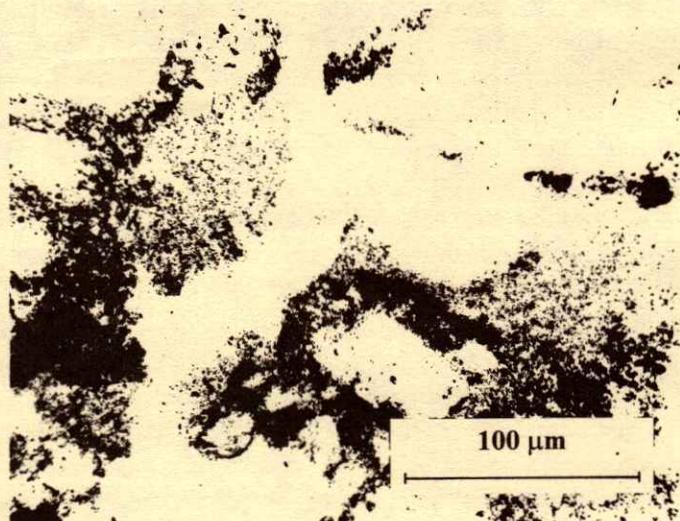


Foto 2. Rasgos de arcilla sin capas, empolvadas, en rellenos irregulares. Sitio selva subhorizonte B2tg, 80-100 cm.



Foto 3. Gravas de base, *in situ* y alteradas (isoalterita): a) gravas alteradas; b) rellenos limo-arcillosos con fragmentos carbonosos; c) rasgos arcillosos de microlita amarilla; d) rasgos arcillosos de microlita roja.

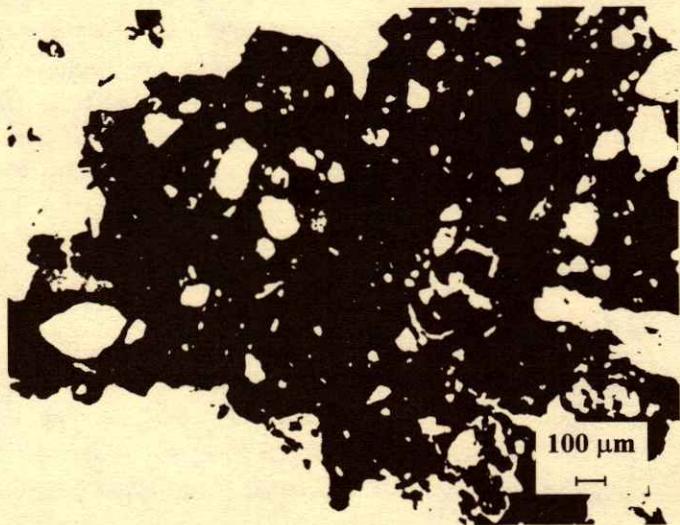


Foto 4. Agregados organo-mineral, pardo oscuro.

**Rasgos texturales en la iso-alterita.** Fueron identificados (Foto 3) por orden de abundancia:

- a) revestimientos microlíticos rojos de baja birrefringencia pero de extinción clara;
- b) revestimientos y rellenos de color pardo-amarillento, arcillolimosos (hasta 20  $\mu\text{m}$ ) con fragmentos carbonosos ferruginizados;
- c) revestimientos arcillosos microlíticos amarillos, con birrefringencia débil y extinción clara;
- d) revestimientos arcillosos microlíticos rojos.

Fueron observadas diversas secuencias entre a, b y c. El conjunto de rasgos texturales totaliza 10 %, su abundancia es mayor en la superficie pero decrece en el material homogeneizado (subhorizonte Ap).

#### **Rasgos y Organizaciones que Caracterizan Micromorfológicamente a los Subhorizontes Superficiales (A1/Ap)**

**Perfil del sitio selva.** En los subhorizontes superiores se distinguen muchos tipos de agregados que se transforman con la profundidad (el paso de una forma a otra se sigue con dificultad), por orden de abundancia, estos son:

- 1) agregados organo-minerales pardo-oscuros, este tipo de agregados presentan una fuerte variabilidad de tamaños y de formas, en la superficie, próximos al mantillo se identifican los agregados: (a) de 1 a 2 mm, alargados, con bordes lisos; (b) de forma variable, pueden medir hasta 1 cm, pero predominan los redondeados y subredondeados angulosos (Foto 4); (c) alargados, en forma de platos apilados (Foto 5).

En la base del subhorizonte A1/Ap y en el principio del A2, la forma de platos apilados es más abundante, sobretodo en el relleno de los canales. Algunos de estos grandes agregados, del tipo "b", resultan de la unión de agregados más chicos del tipo "a". El conjunto de todos los agregados es denso pero se presentan fisurados (Foto 6). La frecuencia y tamaño de las fisuras se incrementan con la profundidad. Estas fisuras o grietas en la superficie organo-mineral son raras, finas y no están conectadas, mientras que en el subhorizonte A1 son más grandes y están conectadas. Existen todas las transiciones entre los agregados agrietados y los agregados fragmentados y dentro de la mayor parte de los casos es posible que suban a la superficie. Muchos de estos agregados, en particular los grandes, son remplazados por acumulaciones ligeras de pequeños agregados (30 a 50  $\mu\text{m}$ ) orgánicos

redondeados, de color pardo-oscuro. Existen todos los estados entre los agregados parcialmente remplazados por los agregados orgánicos y una zona constituida por la acumulación de esos microagregados donde los grandes agregados originales no son reconocibles. Algunos grandes agregados están perforados por un largo canal (2 a 5 milímetros). La matriz de los agregados organo-minerales, de color pardo-oscuro está constituida de una fracción gruesa, integrada por arenas medias y limos, entre los cuales domina el cuarzo, pero los vidrios y minerales volcánicos son abundantes. Se presenta también una fracción orgánica distribuida aleatoriamente, formada de fragmentos redondeados de tejidos vegetales humificados, de color pardo-rojizo, de 70 a 10  $\mu\text{m}$ , insertos en una masa basal oscura donde resaltan a fuertes aumentos, acumulaciones de granos negros, opacos (1 a 10  $\mu\text{m}$ ), intercalados en una matriz parda. Se constata también el aumento de una fracción fina mineral que se manifiesta con colores más claros y una disminución de microgranos negros opacos con el contorno exterior afilado. Los agregados organo-minerales, pardo-oscuros y las formas que ellos derivan constituyen lo esencial de los horizontes superficiales;

- 2) agregados organo-minerales de color pardo, difieren de los agregados organo-minerales pardo-oscuros por el color y una mayor riqueza de la fracción mineral. La masa fina presenta una birrefringencia muy débil y manchada. Su abundancia no pasa de 5 a 10 %;
- 3) agregados orgánicos pardo claros, de formas alargadas con bordes lisos, de tamaños entre 1 y 5 mm (Foto 7). Su distribución no se hace de manera uniforme, tienden a reagruparse aisladamente sin formar agregados verdaderos. Resultan de un empolvamiento muy denso de fragmentos vegetales humificados de color pardo-rojizo de tamaño aproximado a 100  $\mu\text{m}$ , distribuidos al azar. Se observan algunos vidrios volcánicos y granos de cuarzo del tamaño de las arenas finas. Asociados a estos agregados se observan pequeños agregados orgánicos (30 a 50  $\mu\text{m}$ ), muy apelmazados y redondeados de color pardo claro. Su abundancia puede ser estimada en 3 a 5 %.

En estos subhorizontes superficiales se observan diferentes capas: (1) un mantillo espeso de 1 cm, formado de órganos foliares apelmazados muy desordenados. Las paredes celulares están parcialmente humificadas, algunos tejidos están llenos de cavidades que son rellenas de agregados redondeados

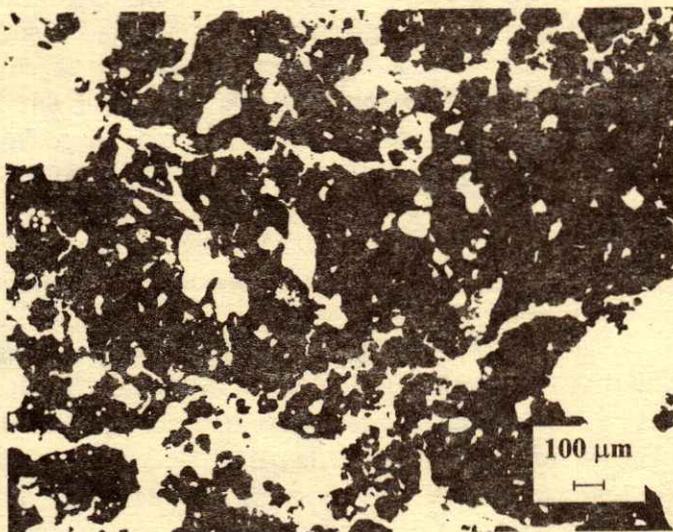


Foto 5. Relleno organo-mineral, pardo oscuro depositado en forma de platos apilados

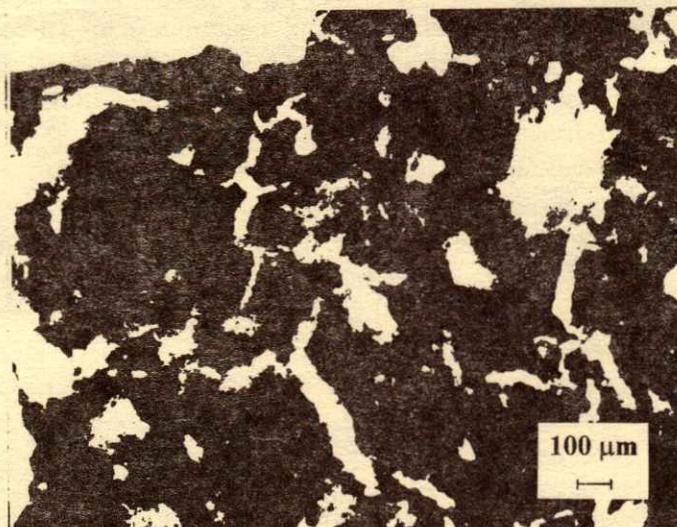


Foto 6. Fisuración de un agregado organo-mineral pardo oscuro.

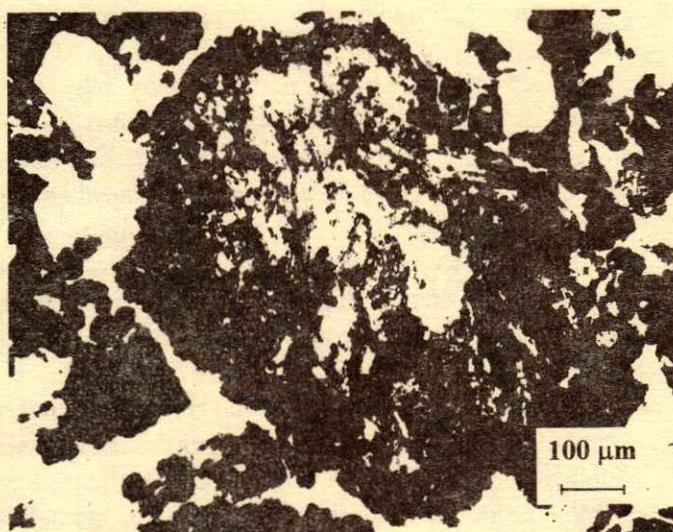


Foto 7. Agregado orgánico pardo claro, constituido de un apelmasamiento de fragmentos orgánicos. Excrementos de larvas de insectos.



Foto 8. Bolitas fecales orgánicas entre las hojas muertas del mantillo.

(30 a 50  $\mu\text{m}$ ), de color pardo. Se observa también entre los fragmentos vegetales algunos grupos de tejidos humificados angulosos, pegados unos a otros (Foto 8); (2) una capa organo-mineral muy abierta de espesor irregular, en promedio de 1 cm; (3) una capa organo-mineral grumulosa de 3 cm de espesor; (4) una capa organo-mineral (subhorizonte A1), constituida de un apelmazamiento desordenado de agregados organo-minerales (macro y micro), de color pardo oscuro, de raíces, de granos de cuarzo y de vidrios volcánicos. Las estructuras grumulosas resultan de un apelmazamiento libre de agregados organo-minerales, de color pardo oscuro, medianamente fragmentados, derivados de micro-agregados del mismo color, de agregados orgánicos pardo claro, de agregados organo-minerales pardos, de numerosos vidrios volcánicos y de raíces en diferentes estados de humificación.

En la base del subhorizontes A1 se observa un apelmazamiento libre de fragmentos de agregados pardo oscuros, de micro-agregados negros derivados y de granos de cuarzo (0.2 a 2 milímetros). La abundancia de los materiales volcánicos disminuye. En el seno del apelmazamiento se observa:

- 1) grandes canales de varios milímetros de longitud, rellenos por un material análogo adyacente pero menos impregnado de diversos materiales pequeños (menos empolvado);
- 2) canales de 1 a 2 mm de diámetro, rellenos por un material idéntico al de los agregados organo-minerales pardo oscuro;
- 3) presencia de raíces finas, medianamente a fuertemente humificadas en el interior de algunos canales.

La transición a la parte mineral del perfil se caracteriza por una penetración de la matriz organo-mineral, de color pardo oscuro, por medio de canales que perforan la matriz mineral, de color amarillo claro de los horizontes subyacentes (Foto 9). El colmatado de estos canales por esta matriz es variable, algunos son totalmente saturados mientras que otros son rellenos por un apelmazamiento de agregados redondeados (0.5 a 1.0 milímetros). Las zonas de transición ocupan una mínima superficie. Se observan todas las etapas entre el colmatado *in situ* y la difusión de matriz organo-mineral, pardo oscuro en el interior de la matriz mineral, amarillo clara. En su inicio, los materiales de relleno son fragmentados y dispersados al estado de agregados, posteriormente se dispersan progresivamente en el seno de la matriz mineral amarillo clara. La microestructura de la zona de transición

corresponde a un empolvamiento relativamente denso e irregular, con una conexión de poros de forma irregular y de tamaños variables (entre 50 a 100  $\mu\text{m}$  y algunos milímetros). Esta mezcla a nivel de la fracción fina se interpreta por medio de:

- 1) su decoloración progresiva de pardo oscuro a amarillo claro;
- 2) una disminución igualmente progresiva del número de granos negros y opacos (1 a 10  $\mu\text{m}$ ) acompañado de una decoloración;
- 3) la forma externa de los granos negros se alisa (su naturaleza carbonosa no fue identificada) y su número decrece.

**Perfil del sitio potrero.** Se caracteriza por presentar un solo tipo de agregados organo-minerales, de color pardo oscuro. Las diferencias entre el tipo de agregados del perfil del sitio selva son:

- 1) una gran dominancia de grandes agregados de 5 mm a 1 centímetros;
- 2) son más frecuentes los agregados de formas parecidas a platos apilados;
- 3) los agregados fragmentados son raros y menos frecuentes;
- 4) ningún agregado es atravesado por canales;
- 5) la rareza de pequeños agregados (30 a 50  $\mu\text{m}$ ), orgánicos redondeados, de color pardo oscuro son únicamente visibles en algunos macro-poros entre los agregados.

La matriz de los agregados organo-minerales, pardo oscuros (Foto 10) es globalmente comparable a la del sitio selva. En el sitio potrero, esta matriz parece más regular, los tejidos vegetales humificados y los materiales volcánicos son menos abundantes, estos últimos se localizan por lo regular incluidos en los agregados. Los residuos carbonosos son raros y pequeños.

La disposición de subhorizontes en el perfil del sitio potrero es comparable al de la selva, pero más simple. Se distingue (en el sitio potrero) un mantillo que está compuesto por tallos y raíces finas en diversos estados de humificación, sin deyecciones de ácaros. Los horizontes subyacentes son similares a los del sitio selva. El subhorizonte Ap resulta de un apelmazamiento denso de agregados organo-minerales, de color pardo oscuro que en medio y en la base de este horizonte se fragmentan, pero menos que en la selva. Los poros que resultan del apelmazamiento de los agregados son cavidades residuales, dentro de las cuales se observan pequeños agregados orgánicos

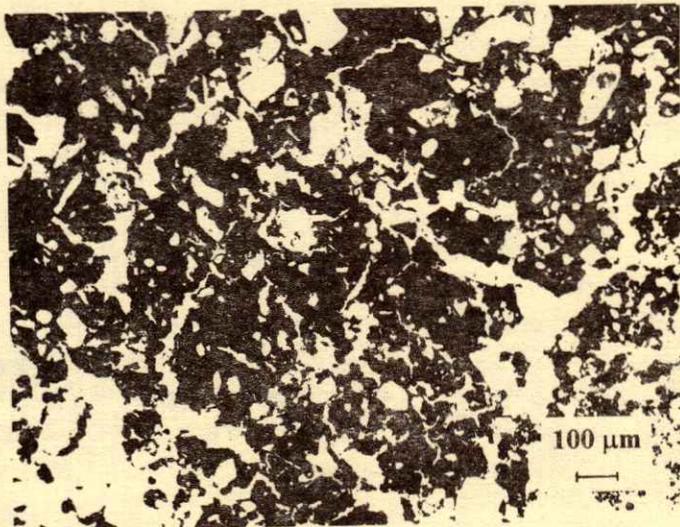


Foto 9. Penetración de la matriz organo-mineral pardo oscura en un canal del subhorizonte A1.

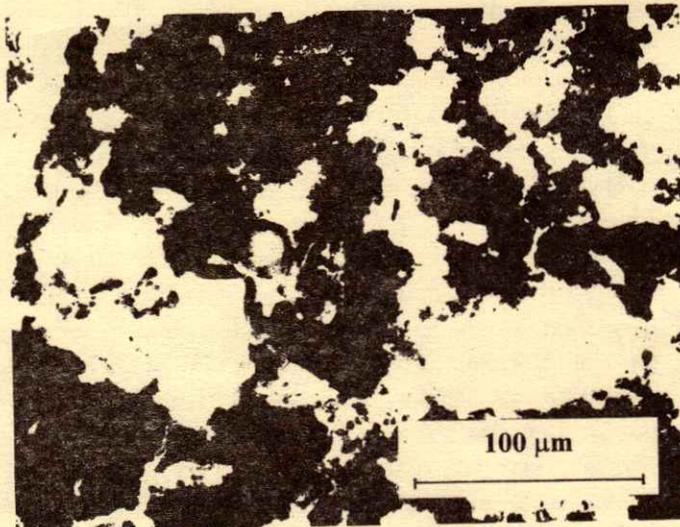


Foto 10. Fracción fina del subhorizonte Ap. Matriz de los agregados organo-minerales pardo oscuros, con un gran número de partículas opacas.

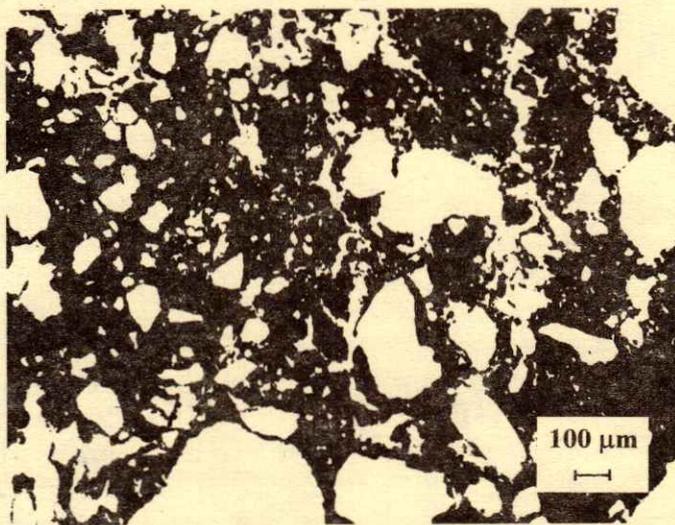


Foto 11. Microestructura fragmentada y compactada.

redondeados (30 a 50  $\mu\text{m}$ ), de color pardo oscuros y fisuras. Las cavidades y las fisuras se conectan entre sí formando agrupamientos. Los canales con o sin raíces son mucho más abundantes (10 a 15 %) que en la selva. La transición es comparable a la del sitio selva pero menos progresiva.

**Perfiles localizados en las plantaciones.** Estos perfiles presentan muchas semejanzas con los perfiles situados en el sitio de potrero y en la selva, sus diferencias son:

- 1) la existencia de costras superficiales y de rasgos de sedimentación en el interior del subhorizonte Ap de los perfiles situados en las calles de las plantaciones;
- 2) microestructura fragmentada (Foto 11), la mayor parte de los agregados organo-minerales están fragmentados (200 a 100  $\mu\text{m}$ ) y son de color pardo oscuro, a diferencia del perfil del sitio potrero, los granos de cuarzo liberados por la fragmentación están apelmazados de forma libre; esta microestructura difiere también de la microestructura de los subhorizontes A1 del sitio selva por un mayor tamaño de fragmentos y la poca abundancia de pequeños agregados (30 a 50  $\mu\text{m}$ ) orgánicos redondeados;
- 3) microestructuras compactadas constituidas de un apelmazamiento denso de fragmentos de agregados organo-minerales, de color pardo oscuro, observadas con mayor frecuencia en el perfil de la huerta de 10 años sombra, en este perfil el apelmazamiento se acompaña de una ligera decoloración de la fracción fina, de pardo oscuro a pardo;
- 4) la presencia de motas de algunos centímetros, observadas en el subhorizonte A2, es el resultado de la compactación del material del subhorizonte Ap.

Las costras superficiales tienen un espesor de 2 a 4 cm, la cara de los agregados en contacto con la superficie es lisa y se observa un agrietamiento en su interior. Se detectan localmente rasgos de sedimentación en la superficie de los agregados, pero sobretodo en el interior de la costra. De arriba a abajo se forma una acumulación textural irregular de 1 mm de espesor en promedio, constituida de agregados organo-minerales, de color pardo oscuro, redondeados, de 100 a 500  $\mu\text{m}$ , granos de cuarzo de 100 a 200  $\mu\text{m}$  y una fina capa irregular de 1 mm, constituida de fragmentos orgánicos humificados, de partículas negras opacas de 2 a 20  $\mu\text{m}$  y de algunos granos de cuarzo del tamaño de los limos finos. Bajo la costra, después de una transición muy marcada se observa una microestructura fragmentada. Los rasgos de sedimentación internos son horizontales, comparables a los de

superficie, sus diferencias son: (1) una granulometría más fina dispuesta en capas gruesas (máximo 200  $\mu\text{m}$ ); (2) un depósito orgánico fino en la superficie de los granos superiores de la capa gruesa.

**Perfiles situados en la sombra de los árboles.** Estos perfiles no presentan variaciones notables, en particular con la edad, a excepción de:

- 1) el subhorizonte Ap como el subhorizonte A2 del perfil situado en la plantación de cinco años, presenta características claras de los horizontes correspondientes al perfil del sitio selva (esta particularidad fue observada igualmente en el perfil vecino, situado en la calle);
- 2) dentro los subhorizontes profundos de los perfiles de la plantación de cinco años, tanto en la sombra como en las calles, se presentan características hidromórficas (fracción fina pardo-rojiza, rasgos ferruginosos escasos e impregnación débil);
- 3) en el perfil de la plantación de 10 años se observa la presencia de fragmentos calcáreos sin disolución (conchas de 3 a 5 % y de 1 a 5 milímetros);
- 4) ausencia de raíces de gramíneas.

**Perfiles situados en las calles de las plantaciones.** Los perfiles de las calles se diferencian de los perfiles de la sombra por el desarrollo de costras superficiales. Es importante hacer notar que no se observa ningún endurecimiento ni compactación abajo de estas costras. En todos los casos la microestructura es abierta, no fue observada una evolución sensible de la costra en ningún sitio de las plantaciones.

## CONCLUSIONES

La información obtenida de las observaciones multiescalares de la morfología del suelo muestran que el cambio de uso provocó diversas alteraciones, reflejadas directamente en la estructura del suelo.

La descripción de los materiales parentales y de los rasgos pedológicos de origen no biológico (conjunto de atributos que caracterizan sus transformaciones químicas y físicas), no presentan variaciones significativas entre los diversos usos del suelo, sin embargo, los rasgos y las organizaciones de origen biológico así como la superficie del suelo en las calles de las plantaciones, presentan grandes diferencias (alteraciones) con el cambio de uso.

La mayoría de los agregados, encontrados en la superficie de todos los sitios, fueron de origen orgánico-mineral con coloraciones pardo oscuras a pardo

claras. Estos agregados primarios han sido identificados como turrículos (excreciones) de lombrices de tierra, los cuales se disgregan en el sitio de selva por el consumo de ácaros y por desecación. En los sitios restantes sólo ocurre una disgregación de agregados por desecación (Figura 1).

Las perforaciones de los agregados que fueron observadas en todos los sitios son atribuidas a la macrofauna edáfica, principalmente a las lombrices, éstas construyen galerías que penetran hasta el subhorizonte B1 y, algunas veces, hasta el B2, contribuyendo a su estructuración, al mismo tiempo que depositan sus excrementos (aportando humus en subhorizontes profundos).

Gracias a sus galerías (aunque colmatadas en su mayoría) y a la escasa penetración de las raíces, existen movimientos de flujos.

La microestructura, resultado de la actividad biológica, se ve afectada por el manejo del suelo que promueve la fragmentación de los agregados y la formación de motas ferruginosas que se observan a escalas microscópicas. Estos signos del trabajo del suelo fueron observados en todos los perfiles de las plantaciones con un desarrollo variable y no son relacionados con la edad de las huertas. Después de 10 años de cultivo en cítricos, se distingue en la fracción fina del suelo un ligero aclaramiento y una disminución de partículas opacas. Esto significa que las partículas carbonosas no son renovadas y la evolución de la materia orgánica es hacia formas cada vez más húmicas. En la sombra de los árboles de 10 años de edad, se observaron microestructuras compactadas constituidas de un apelmazamiento de fragmentos de agregados organo-minerales, indicadores de una degradación estructural, provocados en gran medida por la disminución de la actividad de la fauna edáfica.

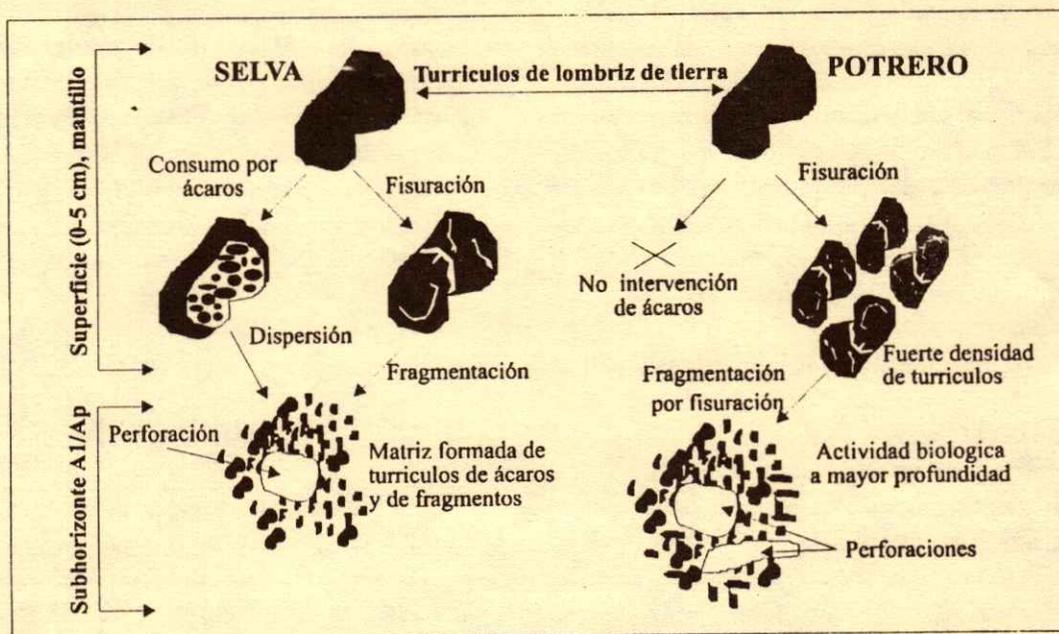


Figura 1. Representación esquemática del origen orgánico de los agregados del suelo en la sabana de Huimanguillo, Estado de Tabasco, México.

#### LITERATURA CITADA

- Bullock, P., N. Fedoroff, A. Jongerius, G. Stoops, T. Tursina y U. Babel. 1985. Handbook for soil thin section description. Waine Research Publications, Wolverhampton, UK.
- Cisneros, D.J. 1983. Cambios en las características físicas de un Paleudult sujeto a diferentes usos, sabana de Huimanguillo, Tabasco. Tesis de Maestría en Ciencias. CSAT-Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos.
- DIPAFF, SD. 1989. La agricultura de Tabasco: análisis y alternativas. Dirección de Promoción Agrícola Frutícola y Forestal, Secretaría de Desarrollo. Gobierno del Estado. México.
- FAO/UNESCO. 1988. Soil map of the world. World soil resources report 60. Revised legend. Rome.
- García, E. 1973. Modificaciones al Sistema de Clasificación Climática de Köppen. Instituto de Geografía. Universidad Nacional Autónoma de México.

Guillote, P. 1987. Méthodes de fabrication mécanique et en série des lames minces. INA P.G. Département des Sols. Paris, France.

Ordaz Ch., V. 1995. Impact de la culture des agrumes sur le fonctionnement des sols dans une zone tropicale du Mexique (Etat de Tabasco). Sols No.20 Institut National Agronomique Paris Grignon, France.

Sánchez E., D. 1990. Prácticas conservacionistas con yuca *Manihot Esculenta* Crantz en suelos ácidos de Tabasco,

México. Tesis de Maestría en Ciencias. Colegio de Postgraduados, Chapingo, México.

Soil Survey Staff. 1975. Soil Taxonomy: A basic system of soil classification for making and interpreting soil surveys. USDA - SCS Agric. Handbook 436. U. S. Government Printing Office, Washington, DC.

West R. C., N.P. Psuty y B.G. Thom. 1987. Las tierras bajas de Tabasco, en el sureste de México. Biblioteca básica. Gobierno del Estado de Tabasco. México.

366

TERRA VOLUMEN 14 NUMERO 4, 1996

364

TERRA VOLUMEN 14 NUMERO 4, 1996

386

TERRA VOLUMEN 14 NUMERO 4, 1996

Ruschel, A.P., P.B. Vose, E. Matsui, R.L. Victoria y S.M.T. Saito. 1982. Field evaluation of N<sub>2</sub>-fixation and nitrogen utilization by *Phaseolus* bean varieties determined by <sup>15</sup>N isotope dilution. Plant and Soil 65: 397-407.

Smarr, J. 1988. Morphological, Physiological and Biochemical changes in *Phaseolus* beans under domestication. p. 143-161. In:

P. Gepts (ed). Resources of *Phaseolus* beans. Kluwer, Dordrecht, Netherlands.

Vázquez C., G. y F. Cárdenas R. 1990. Características físicas, tecnológicas y proteínicas de frijoles (*Phaseolus vulgaris* L.) silvestres y cultivados. Resúmenes XIII Congreso Nacional de Fitogenética. 3-7 de sept. Ciudad Juárez, Chihuahua.

Vincent, J.M. 1970. A manual for practical study of root-nodule bacteria. Blackwell Scientific Publications. Oxford.

468

TERRA VOLUMEN 14 NUMERO 4, 1996

Aveldaño Salazar. 1994c. Manual de Diagnóstico- Prescripción para el cultivo de maíz en el estado de Hidalgo. Centro de Investigación Regional del Centro. INIFAP. Pachuca, Hidalgo.

Turrent Fernández A., J.L. Zúñiga González, J. Ruiz Ramírez, G. Espinosa Sánchez, H. Díaz Cisneros y B. Peña Olvera. 1994d. El Programa Nacional de Maíz de Alta Tecnología:

El PRONAMAT Veracruz. Colegio de Postgraduados Campus Puebla, Puebla.

Turrent Fernández A. 1994e. Plan de investigación del sistema maíz-tortilla en la región centro. Centro de Investigación Regional del Centro. INIFAP. Chapingo, México.

World Resources Institute (WRI). 1993. World Resources 1992-1993. Oxford University Press, New York.

# FERTILIZANTES Y REGULADORES DEL CRECIMIENTO EN LA FLORACION, CALIDAD DE FRUTA Y ESTADO NUTRIMENTAL DEL NARANJO 'VALENCIA LATE' EN VERACRUZ, MEXICO

Fertilizers and Growth Regulators in Flowering, Fruit Quality and Nutritional Status of 'Valencia Late' Oranges in Veracruz, Mexico

G. Almaguer V.<sup>1</sup>, R. Maldonado T.<sup>2</sup> y C. Saucedo<sup>3</sup>

## RESUMEN

Aunque el naranjo (*Citrus sinensis* L. Osbeck) es el frutal de mayor importancia económica en México debido a la magnitud de la superficie sembrada, existe poca información acerca de la influencia de la aplicación de fertilizantes y fitohormonas en la calidad de fruta y en algunos procesos fisiológicos de los cítricos en la zona norte de Veracruz. Los objetivos del presente trabajo fueron incrementar la brotación de yemas con flor, la calidad de fruta y evaluar el estado nutricional de naranjos, por medio de la aplicación de fertilizantes, ácido giberélico y etefón. Para lograr lo anterior, se estableció este experimento en un huerto de naranjo 'Valencia Late' en la región de Martínez de la Torre, Veracruz, en 1992 y 1993. Se utilizó un diseño en bloques completamente al azar con cinco repeticiones y se consideró a un árbol como unidad experimental. Las concentraciones nutrimentales del follaje de los naranjos fueron interpretadas mediante el procedimiento Kenworthy. La mejor calidad de fruta se obtuvo en los árboles tratados con 244 g de urea suministrada al suelo más 55  $\mu\text{L L}^{-1}$  de sustancias húmicas por árbol, ya que tuvo menor pérdida fisiológica de peso y mejor coloración del flavedo. Cuando se aplicaron fitohormonas, se logró incrementar en 41 % el número de yemas mixtas brotadas, en relación con los árboles que no recibieron esta aplicación. El diagnóstico nutricional indicó que los tratamientos aplicados no afectaron significativamente

el orden de requerimiento de nutrimentos de los árboles.

**Palabras clave:** *Citrus sinensis* L. Osbeck, ácido giberélico, etefón, fertilización foliar.

## SUMMARY

Although orange (*Citrus sinensis* L. Osbeck) is the most economically important fruit crop in Mexico because of the magnitude of the cultivated area, there is little information about the influence of the application of fertilizers and plant hormones on fruit quality nor on the physiological processes of trees in the northern zone of Veracruz. The objectives of this study were to improve the production of flower buds, fruit quality, and nutritional status of orange trees through the application of fertilizers and growth regulators. To achieve these objectives, an experiment was established in 1992-1993 in a 'Valencia Late' orange orchard in the region near Martínez de la Torre, Veracruz. A design of complete random blocks was used with five replications, using one tree as the experimental unit. The nutrient concentrations found in the foliage were interpreted using the Kenworthy procedure. The best quality of fruit was obtained in trees treated with 244 g of urea applied to the soil, plus 55  $\mu\text{L L}^{-1}$  of humic substances. These showed the smallest physiological weight loss and the best flavedo coloring. When plant hormones were applied, an increase of 41 % in mixed buds was achieved, compared with the trees that did not receive the treatment. The nutritional diagnosis indicated that the treatments applied did not significantly affect the order of the trees nutrient requirements.

**Index words:** *Citrus sinensis* L. Osbeck, gibberilic acid, etephon, foliage fertilization.

<sup>1</sup>Departamento de Fitotecnia, Universidad Autónoma Chapingo;

<sup>2</sup>Departamento de Suelos, Universidad Autónoma Chapingo, Chapingo, México CP 56230.

<sup>3</sup>Programa de Fruticultura, IRGP, Colegio de Postgraduados, Montecillo, México.

Aceptado: Agosto de 1996.

## INTRODUCCION

El naranjo es el frutal más importante de México ya que existen cultivadas más de 252 329 ha, lo que representa aproximadamente 22 % de la superficie ocupada con frutales. En el norte del estado de Veracruz se encuentra la mayor zona productora, con aproximadamente 56.5 % de la superficie nacional y con rendimientos promedio de  $14 \text{ t ha}^{-1}$  (SARH, 1993).

Esta zona presenta un potencial productivo de 30 a  $45 \text{ t ha}^{-1}$ , pero existen factores que no permiten alcanzar esta producción, entre los que destacan: a) El manejo inadecuado de la nutrición y fertilización de los árboles, acentuado por el creciente incremento en el precio de los fertilizantes, así como por la falta de información del estado nutrimental de los naranjos. b) Desconocimiento del uso adecuado de reguladores del crecimiento y su influencia en la calidad del fruto y la brotación de yemas mixtas y florales.

Existen diferentes trabajos relacionados con el diagnóstico del estado nutrimental y prácticas de fertilización de los cítricos en México, como el de Toledo y Etcheverys (1988) en la sabana de Huimanguillo, Tabasco; los de Orozco (1979) y Sánchez (1984) en Colima; los de Alcalá *et al.* (1993) y García *et al.* (1991) en Tamaulipas; y el de Núñez (1993) en Hermosillo, Sonora, entre otros.

En general, con base en los resultados de estos trabajos, se puede concluir que los contenidos de N óptimos en el follaje de los naranjos, para obtener con mayor probabilidad rendimientos superiores a  $10 \text{ t ha}^{-1}$ , deben ser de 2.2 % o ligeramente superiores. Sin embargo, esta información se generó para zonas ecológicamente diferentes a la región norte de Veracruz y la interpretación de los resultados de los análisis nutrimentales fue con base en los intervalos de concentración, principalmente los propuestos por Embleton *et al.* (1973). Estos estándares se generaron para regiones con características particulares, que limitan su extrapolación a otras zonas cítricas. Kenworthy (1967) estableció un procedimiento de interpretación del estado nutrimental, basado en el análisis foliar, que puede utilizarse en regiones diversas, siempre que se generen los estándares.

Por lo que respecta a las prácticas de fertilización, Curti *et al.* (1993) indicaron que los naranjos de siete años de edad de la zona norte de Veracruz deben fertilizarse con una dosis de 130 unidades de  $\text{N ha}^{-1}$  año<sup>-1</sup>, aplicada al suelo. Por otro lado, Gómez *et al.*

(1994) observaron una respuesta muy satisfactoria de algunos cítricos a las aspersiones foliares de nutrimentos. De hecho, Embleton y Jones (1974) mencionan que la urea asperjada foliarmente fue tan efectiva como la aplicada al suelo para incrementar la producción de frutos, aunque se requiere hacer aplicaciones foliares más frecuentes en relación con las efectuadas al suelo. Por su parte, Anwar y Lovatt (1994) hicieron aplicaciones foliares de urea con bajo contenido de biuret en dosis de 1.2 % durante el invierno y obtuvieron incrementos en el número y tamaño de frutos de naranjo Washington Navel, durante tres años consecutivos, con relación a los árboles que no recibieron esta aspersión.

En relación con la calidad postcosecha de los frutos cítricos, Saucedo y Arana (1993) indican que éstos alcanzan su madurez de consumo en la planta y los cambios en sus constituyentes químicos, dados principalmente por el contenido de azúcares y ácidos orgánicos, van ligados a su desarrollo, por lo que se consideran frutos no climatéricos. Para naranjas maduras, Saucedo (1992) menciona que los sólidos solubles totales deben ser de 8.0 a 9.2, la acidez titulable de 1.05 a 1.14 y el contenido de jugo de 33 a 49 %. Por su parte, Bob (1994) encontró que los frutos del naranjo Valencia Late, injertado en naranjo agrio, tienen 59.7 % de jugo en el fruto, 0.58 % de acidez y 11.7 °Bx de sólidos solubles totales.

Estos parámetros pueden ser modificados por la aplicación de reguladores del crecimiento. El ácido giberélico ( $\text{AG}_3$ ), en dosis de 20 a  $30 \text{ mg L}^{-1}$ , puede mantener por más tiempo el color verde de los frutos, porque no permite la degradación de los pigmentos clorofílicos localizados en el flavedo (parte más exterior de las frutas cítricas). Por otra parte, el etefón aceleró la maduración de los frutos hasta en 15 días, aunque después de un mes de su aplicación, ya no se observó su influencia (Coggins, 1981; Guardiola, 1992).

La aplicación de estos productos también puede afectar otros procesos fisiológicos de las plantas, como la brotación. El etefón aplicado foliarmente a fines de enero y principios de febrero, en dosis de 500 y  $1000 \mu\text{L L}^{-1}$ , incrementó el número de yemas vegetativas, mixtas y florales brotadas en naranjo Valencia Late y limón Persa y esto promovió un incremento en la producción (González y Borroto, 1987; González *et al.*, 1986).

Los primeros reportes del uso del AG<sub>3</sub> indican que promovió la brotación de las yemas de algunos caducifolios, aunque la concentración que se aplicó estuvo en función de la intensidad del reposo que tuvieron las yemas (Walker y Donoho, 1959).

En cítricos, el AG<sub>3</sub> también rompió el letargo de las yemas, asperjado en cualquier época del año (Cooper y Peynado, 1958). Curtí *et al.* (1990) aplicaron AG<sub>3</sub> en dosis de 25 mg L<sup>-1</sup> a árboles de naranja y se retrasó la brotación de las yemas con flor. Cuando las giberelinas se aplican a los cítricos cerca de la época en la cual se empiezan a diferenciar las yemas, se reduce considerablemente la cantidad de flores formadas, debido a que estos reguladores del crecimiento promueven el crecimiento vegetativo e inhiben la inducción floral (Davenport, 1990; Guardiola, 1992).

Por lo anterior, los objetivos del presente trabajo fueron mejorar la brotación de yemas con flor, calidad de fruto y el estado nutricional de naranjos, por medio de aplicaciones de fertilizantes y reguladores del crecimiento.

## MATERIALES Y METODOS

Se realizó un experimento durante 1992 y 1993 en un huerto de naranjos de siete años de edad, plantados en marco real a 7 x 7 m e injertados sobre naranjo agrio (*Citrus aurantium* L.), localizado en la región citrícola de Martínez de la Torre, Veracruz, que está a 20° 10.4' de latitud norte, 97° 6.7' de longitud oeste y altitud de 120 m (INEGI, 1988). Se empleó un diseño experimental de bloques completamente al azar, con cinco repeticiones y un árbol como unidad experimental. Los árboles seleccionados tenían un vigor similar. Posteriormente, se realizó al azar la asignación de los tratamientos, los cuales se muestran en el Cuadro 1.

Se realizaron cuatro aspersiones al follaje de urea foliar y sustancias húmicas hasta punto de goteo en las siguientes fechas: 2 de mayo de 1992 (fase fenológica de crecimiento de fruto), 21 de noviembre de 1992 (fase de letargo y maduración de fruto), 13 y 14 de febrero de 1993 (comienzo de la brotación) y el 9 de marzo de 1993 (floración). El etefón y el ácido giberélico se aplicaron foliarmente hasta punto de goteo el 9 de mayo de 1992 y el 21 de diciembre de 1992, respectivamente. La urea aplicada al suelo se fraccionó cuatro veces y se colocó en una zanja de

**Cuadro 1. Tratamientos aplicados a naranjos Valencia Late en Martínez de la Torre, Veracruz.**

Tratamiento	Urea al suelo	Urea foliar	Humus	Etefón	Acido giberélico
	g	%	μL L <sup>-1</sup>	μL L <sup>-1</sup>	mg L <sup>-1</sup>
Testigo	0	0	0	0	0
1	244	3	0	0	0
2	244	0	55	0	0
3	0	3	55	0	0
4	244	3	55	0	0
5	244	0	55	500	20

15 cm de profundidad en la zona de goteo, en las mismas fechas cuando se realizaron las aspersiones de la urea foliar.

Las variables evaluadas fueron las siguientes:

a) **Análisis vegetal.** Se obtuvieron muestras de hojas de cinco meses de edad, sanas, de tamaño similar, y colocadas en la quinta posición de la rama, contando del ápice a la base, el día 6 de junio de 1993. Se colectaron 100 hojas por tratamiento, a una altura aproximada de 1.80 m del nivel del suelo procurando que hayan recibido total iluminación y distribuidas en los cuatro puntos cardinales del árbol. Las muestras se transportaron en una hielera portátil al laboratorio del Departamento de Suelos de la Universidad Autónoma Chapingo, donde se procesaron en la forma siguiente: se lavaron utilizando Teepol y posteriormente se enjuagaron tres veces con agua destilada. Se eliminó el exceso de agua con papel absorbente y se colocaron en una estufa a 60 °C durante 72 horas para su secado; posteriormente se molieron con un equipo eléctrico provisto con una malla del número 40.

Los nutrimentos se analizaron previa digestión húmeda hecha con una mezcla de ácido sulfúrico, ácido perclórico y peróxido de hidrógeno, concentrados. El nitrógeno foliar se determinó por el método microkjeldahl. El fósforo foliar se determinó por el método del complejo amarillo de vanadomolibdato. El potasio foliar se determinó utilizando las mismas muestras que para el N, pero por el método de flamometría. Los micronutrimentos se evaluaron por espectrofotometría de absorción atómica. Los métodos y técnicas empleadas fueron las rutinarias del laboratorio central de la UACH. Los resultados se interpretaron mediante la técnica Kenworthy (1961). Se utilizaron como estándares los generados para esa zona por Maldonado y Vergara (1993).

b) **Análisis de calidad de fruta.** Para efectuar este análisis, el 8 de febrero de 1993 se colectaron 10 frutos

por árbol, resultando 50 por tratamiento y se transportaron al laboratorio de Fisiología de Postcosecha del Colegio de Postgraduados. Para evaluar la calidad de los frutos se consideraron los siguientes parámetros: pérdida fisiológica de peso de fruto (PFP), para lo cual se pesaron los frutos en el momento de la cosecha y siete días después. La diferencia fue el peso perdido. El índice de color se evaluó utilizando un aparato Hunter Lab. El porcentaje de acidez se determinó por el método de la AOAC (1980). Porcentaje de jugo: se extrajo el jugo del fruto con un exprimidor y se relacionó con su peso total. Los sólidos solubles totales en jugo (SST) se calcularon utilizando un refractómetro "Zeiz"z".

c) **Número de yemas brotadas por rama.** La evaluación de esta variable se realizó el 5 de febrero y el 26 de junio de 1993. Se contó el número de yemas vegetativas, mixtas y florales brotadas en ramas distribuidas en toda la periferia del árbol, de aproximadamente 50 cm de longitud y de vigor similar. La muestra fue de 20 ramas por árbol, con lo que se tuvieron 100 por tratamiento.

## RESULTADOS Y DISCUSION

### Concentración y Diagnóstico Nutricional del Follaje

Los resultados obtenidos de las concentraciones nutricionales de los naranjos se aprecian en el Cuadro 2.

En los diferentes trabajos de investigación realizados en México, se ha encontrado que la concentración óptima de N en el follaje de los cítricos debe ser de 2.2 %, con base en materia seca, o más, para obtener con mayor probabilidad rendimientos superiores a 10 t ha<sup>-1</sup>. Al utilizar el diagnóstico nutricional de Kenworthy, se observa que los tratamientos de fertilización aplicados en este trabajo, no afectaron el orden de requerimientos de nutrientes de los naranjos y la composición nutricional se mantuvo en valores de alrededor de 1.7 %, que son bajos (Cuadro 2). El Tratamiento 4 era el que tenía más posibilidades de que tanto el índice de balance, como la clasificación nutricional del nitrógeno, estuvieran más cerca de lo normal, ya que la fertilización de estos árboles era prácticamente la recomendada para esa zona por Curtí *et al.* (1993) y,

sin embargo, tuvieron un comportamiento similar a los árboles de los otros tratamientos, que recibieron menores cantidades de urea. Esto pudo deberse a la falta de respuesta rápida que en términos generales presentan en esta zona los naranjos a las aplicaciones de fertilizantes al suelo, tal y como sucedió en el trabajo de Hernández *et al.* (1992), quienes tampoco obtuvieron respuesta de los naranjos a las aplicaciones de fertilizantes nitrogenados fosforados y potásicos. Ellos atribuyeron esta ausencia de respuesta a que la evaluación sólo se hizo durante un año, y las plantas perennes normalmente requieren más tiempo para responder a las prácticas culturales que se les realizan. Esto puede también explicar por qué los tratamientos aplicados en este experimento no afectaron el orden nutricional de los naranjos; además de que los fertilizantes aplicados fueron metabolizados rápidamente porque las plantas ya los requerían.

Los árboles con aplicaciones foliares de urea y sustancias húmicas (Tratamientos 3 y 4), tampoco tuvieron un orden de requerimiento nutricional y un índice de balance más favorable, debido a que se realizó solamente una aplicación. Anwar y Lovatt (1994) obtuvieron incrementos en amarre, tamaño y calidad de frutos con una aplicación foliar de urea en 1.2 %, y lo atribuyeron a la fecha en la cual realizaron las aspersiones, que fue cercana a la brotación, porque con las realizadas en otras fechas, no obtuvieron ninguna respuesta de las plantas. Cabe mencionar que estas aspersiones fueron extras a las que normalmente se realizan en este cultivo. Así mismo, ningún tratamiento modificó la concentración de N en el follaje de los naranjos evaluados.

Por otra parte, el orden de requerimiento nutricional muestra que el Na es bajo para la mayoría de los tratamientos, lo cual es conveniente debido a la susceptibilidad que presentan los cítricos a la intoxicación por este elemento (Ayers y Westcot, 1987).

En general, los nutrientes Zn, Ca, Mg, Mn, Fe y N se clasificaron en una concentración abajo de lo normal en los árboles tratados, mientras que el K, Cu y P se ubicaron en una concentración normal y arriba de lo normal. La deficiencia de Zn y Fe en el follaje se puede explicar por el antagonismo que existe entre estos elementos y el P (Olsen, 1983) y por la deficiente traslocación del Zn que presenta el portainjerto naranjo agrio.

Cuadro 2. Diagnóstico nutricional mediante la técnica Kenworthy en naranjo (*Citrus sinensis* L. Osbeck)

Trat.	%										ppm					ORN
	N	P	K	Ca	Mg	Na	Fe	Cu	Mn	Zn						
Test	CN	1.68	0.406	1.52	2.003	0.161	0.025	57.314	4.82	0.90	22.138					
	IB	71.4	195.744	108.878	61.4907	55.430	43.553	78.0644	88.086	58.6757	54.4071	Na>Zn>Mg>Mn>Ca>N>Fe<Cu>K>P				
	C	BN	E	N	BN	BN	D	BN	N	BN	BN					
1	CN	1.68	0.304	1.00	1.422	0.136	0.210	33.375	4.82	0.60	13.915					
	IB	71.4	157.596	81.722	52.5304	51.574	106.84	67.0525	88.086	58.4838	45.1184	Zn>Mg>Ca>Mn>Fe>N>K>Cu>Na>P				
	C	BN	E	BN	BN	BN	N	BN	N	BN	D					
2	CN	1.96	0.304	0.44	0.388	0.023	0.010	6.775	2.89	0.21	3.794					
	IB	81.8	157.596	52.478	36.5838	34.147	38.421	54.8165	83.647	58.2343	33.6857	Zn>Mg>Ca>Na>K>Fe>Mn>N>Cu>P				
	C	BN	E	BN	D	D	D	BN	N	BN	D					
3	CN	1.68	0.304	0.96	1.389	0.137	0.031	49.334	6.74	0.40	15.812					
	IB	71.4	157.596	79.633	52.0215	51.728	45.605	74.3936	92.502	58.3559	47.2612	Na>>Zn>Mg>Ca>Mn>N>Fe>K>Cu>P				
	C	BN	E	BN	BN	BN	D	BN	N	BN	D					
4	CN	1.40	0.314	0.77	1.179	0.164	0.032	67.964	7.62	0.30	8.854					
	IB	61.0	161.336	69.711	48.7828	55.892	45.947	82.9634	94.526	58.2919	39.4015	Zn>Na>Ca>Mg>Mn>N>K>Fe<Cu>P				
	C	BN	E	BN	D	BN	D	BN	N	BN	D					
5	CN	1.96	0.253	0.60	0.760	0.185	0.032	41.355	3.86	0.60	5.691					
	IB	81.8	138.522	60.833	42.3209	59.131	45.947	70.7233	85.878	58.4838	35.8286	Zn>Ca>Na>Mn>Mg>K>Fe>N>Cu>P				
	C	BN	AN	BN	D	BN	D	BN	N	BN	D					

Trat., ver Cuadro 1.  
 CN = Composición nutricional  
 C = Clasificación nutricional  
 ORN = Orden de requerimiento nutricional  
 IB = Índice de balance Kenworthy  
 D = Deficiente  
 BN = Abajo del normal  
 AN = Arriba del normal  
 E = Exceso

## Número de Yemas Vegetativas, Florales y Mixtas Brotadas por Rama

En el Cuadro 3 se observa que los árboles tratados con reguladores del crecimiento más 244 g de urea al suelo y sustancias húmicas, tuvieron una mayor brotación de yemas mixtas y vegetativas en la evaluación realizada el 5 de febrero y el 26 de junio de 1993, respectivamente, debido sobre todo a la influencia de los reguladores, ya que los árboles que no los incluyeron, no tuvieron incrementos significativos en estas variables. Cabe mencionar que es conveniente promover una mejor brotación de yemas mixtas, ya que de esta manera se obtiene mayor cantidad de frutos en naranjo (Guardiola, 1992). Normalmente, al aplicar etefón se obtiene un incremento significativo en la brotación floral, mixta y vegetativa, tanto en naranjo Valencia Late como en limón Persa y, por lo tanto, de la cosecha (González y Borroto, 1987; González *et al.*, 1986). De hecho, Pérez y Setien (1986), al efectuar cortes anatómicos de yemas provenientes de naranjos Valencia Late tratados con 500  $\mu\text{L L}^{-1}$  de etefón, observaron incrementos de hasta 50 % en la diferenciación floral. Sin embargo, lo más probable es que el etefón que se aplicó a los naranjos tratados, no tuvo efectos en la brotación de yemas mixtas, porque ya habían transcurrido ocho meses desde su aplicación, y tampoco tuvo influencia en la brotación de junio de las yemas vegetativas. El ácido giberélico pudo ser el factor que incrementó la brotación de yemas, en combinación con los fertilizantes aplicados, probablemente porque se asperjó poco antes de la época de brotación y no durante la inducción floral y el efecto que tuvo fue romper el letargo de las yemas tal como lo indican Cooper y Peynado (1958).

Por otra parte, no se tuvieron incrementos significativos en la floración normal evaluada en febrero, ni en la de junio, en los árboles tratados con urea y sustancias húmicas. Al respecto, Anwar y Lovatt (1994) obtuvieron más cantidad de flores, mayores rendimientos y mayor tamaño de fruto de naranjos tratados con una o dos aspersiones al año de urea foliar durante tres años consecutivos; sin embargo, esto sólo ocurrió cuando las aplicaciones se realizaron a mediados de enero o mediados de febrero, mientras que las de otras fechas no incrementaron el rendimiento.

Estas aplicaciones de urea no elevaron el contenido del N en hojas, pero se comprobó que se metabolizó

**Cuadro 3. Efecto de la aplicación de fertilizantes y reguladores del crecimiento en la brotación de yemas de naranjo, en Veracruz.**

Tratamiento	Número de yemas brotadas por rama					
	Vegetativas		Mixtas		Flores	
	Fecha 1	Fecha 2	Fecha 1	Fecha 2	Fecha 1	Fecha 2
Testigo	1.26a*	0.77c	1.50b	0.0a	0.08a	0.0a
1	0.90a	1.09c	1.88b	0.0a	0.20a	0.0a
2	0.99a	1.73b	1.98b	0.0a	0.24a	0.0a
3	1.01a	0.73c	1.82b	0.01a	0.14a	0.0a
4	1.03a	1.22c	2.17b	0.0a	0.16a	0.0a
5	0.76a	3.00a	2.53a	0.01a	0.11a	0.0a

\*Valores con la misma letra son estadísticamente iguales de acuerdo con la prueba de Tukey ( $\alpha=0.05$ ).

Fecha 1 = 5 de febrero de 1993. Fecha 2 = 26 de junio de 1993.

Tratamiento, ver Cuadro 1.

rápidamente en la planta de la siguiente manera: urea  $\rightarrow$  amonio  $\rightarrow$  amoniaco  $\rightarrow$  arginina  $\rightarrow$  poliaminas. Estos compuestos tienen mucha relación con la inducción de la floración (Lovatt *et al.*, 1988).

## Calidad de Fruta

En general, los parámetros de calidad obtenidos en este estudio para frutos de naranjo Valencia Late (Cuadro 4) son superiores a los reportados por Saucedo (1992), pero inferiores a los de Bob (1994). Esto posiblemente se debe a los diferentes ambientes de evaluación en los trabajos mencionados. Sin embargo, los árboles que recibieron aplicación de fertilizantes (Tratamientos 2, 3 y 4), mejoraron la coloración de los frutos, ya que, en general, tuvieron un flavedo más amarillo y además fueron más jugosos, aunque presentaron mayor acidez, por lo que su relación SST/acidez fue menor, en relación con el testigo. Los frutos que perdieron más peso, con menor cantidad de SST y flavedo de color más verde, fueron los que recibieron aplicaciones de urea al suelo, y aspersiones foliares de sustancias húmicas, más etefón y, posteriormente, ácido giberélico (Tratamiento 5).

El ácido giberélico disminuye la degradación de los pigmentos clorofílicos y, por tanto, pudo mantener por más tiempo el color verde de los frutos, en relación con aquellos que no recibieron este tratamiento (Agustí y Almeda, 1995; Coggins, 1981; Contreras *et al.*, 1992; Monselise, 1979) y, en general, un fruto verde puede sufrir una deshidratación más rápida por la succulencia de sus tejidos, lo que explica que hayan perdido más peso fisiológico que el testigo. El-Otomani y Coggins (1991) mencionan que los frutos tratados con  $\text{AG}_3$ ,

**Cuadro 4. Medias de diferentes parámetros de calidad de naranjas, por efecto de la aplicación de fertilizantes y reguladores del crecimiento.**

Tratamiento	PF <sub>P</sub> ----- % -----	Jugo	Índice de color	Acidez %	SST °Bx	SST/acidez
Testigo	8.33a*	52.85d	verde amarillento	0.82d	11.87a	14.48a
1	7.21c	54.04c	amarillo pálido	1.15a	11.73b	10.20b
2	6.95d	53.20d	amarillo pálido	1.10b	11.39c	10.35b
3	.92b	52.77d	amarillo pálido	1.09b	11.73b	10.76b
4	8.37a	56.53a	amarillo pálido	1.04b	11.33c	10.89b
5	7.20c	55.25b	verde	0.92c	9.30d	10.11b

\* Valores con la misma letra son estadísticamente iguales de acuerdo con la prueba de Tukey ( $\alpha=0.05$ ).

PF<sub>P</sub> = Pérdida fisiológica de peso en siete días. SST = Sólidos solubles totales.

Tratamiento, ver Cuadro 1.

además de que mantuvieron su color verde por más tiempo, tuvieron una mayor firmeza. Por su parte, Baez *et al.* (1992) observaron que esta ausencia de color de maduración se puede mantener hasta por dos meses, con cuatro aplicaciones quincenales de AG<sub>3</sub> en 10 mg L<sup>-1</sup> + BA en la misma dosis.

### CONCLUSIONES

El diagnóstico nutrimental indicó que los tratamientos aplicados en naranjo Valencia Late no afectaron el orden de requerimiento nutrimental de los árboles de este experimento.

El ácido giberélico, en combinación con los fertilizantes aplicados, incrementó la brotación de yemas mixtas.

La coloración del flavedo del fruto se mantuvo de color más verde por efecto del ácido giberélico asperjado, mientras que los fertilizantes aplicados promovieron la coloración amarilla del fruto.

### LITERATURA CITADA

- Agustí M. y V. Almeda. 1995. Mejora de la calidad del fruto como objetivo prioritario de la citricultura española. *Revista Chapingo, Serie Horticultura* 4: 21-29
- Alcalá R., J. M., P. Rivero O., H. Rodríguez R. M., M. Torres A. 1993. Diagnóstico nutrimental de la zona citrícola del estado de Tamaulipas. pp. 154-157. *In: Memorias del II Simposium sobre Sistemas de Producción de Cítricos*. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, Méx.
- AOAC. 1980. Association of Official Analytical Chemists. 3rd edition. Washington DC.
- Anwar, G. A. y C. J. Lovatt. 1994. Winter application of low-biuret urea to the foliage of "Washington" Navel orange increased yield. *J. Am. Soc. Hort. Sci.* 119: 1144-1154.
- Ayers, R. S. y D. W. Westcot. 1987. La calidad del agua en la agricultura. FAO, Roma.
- Baez Sañudo, R., L. Zacarias y E. Primo M. 1992. Effect of gibberellic acid and benzyladenine on tree-storage of clementine mandarin fruits. *Proc. Int. Soc. Citriculture* 1: 428-431.
- Bob, R. 1994. Comparing 'Valencia' juice quality from young trees. *Citrus and Vegetables* 4: 7-8.
- Coggins, C. W. Jr. 1981. The influence of exogenous growth regulators on rind quality and internal quality of citrus fruits. *Proc. Int. Soc. Citriculture* 1: 214-216.
- Contreras M., F. Molina R., G. Almaguer V., J. R. Espinoza y C. Pérez M. 1992. Efecto del ácido giberélico en el retraso de la madurez del limón 'Persa' (*Citrus latifolia* Tan.) en la región de Martínez de la Torre, Veracruz, México. *Revista Chapingo* 78: 127-133.
- Cooper, W. C. y A. Peynado. 1958. Effect of gibberellic acid on growth and dormancy in citrus. *Proc. Am. Soc. Hort. Sci.* 72: 284-289.
- Curti D., S., M. Orozco S., V. Díaz Z., X. Loredo S., R. Rodríguez M., R. A. Parra Q. y J. A. Sandoval R. 1993. Manual de producción de los cítricos en Veracruz. Folleto para productores No. 5 Instituto de Investigaciones Forestales Agropecuarias. Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos. México.
- Curti D., S.A., R.A. Parra Q. y R. Mosqueda B. 1990. Desfamamiento de la época de cosecha en cítricos, pp. 69-74. *In: Memorias de la Tercera Reunión Anual del CIFAP*. Veracruz, Ver.
- Davenport, T.L. 1990. Citrus flowering. *Hort. Rev.* 8: 349-408.
- El-Otomani, M. y C. W. Coggins. 1991. Growth regulator effects on retention of quality of stored citrus fruits. *Scientia Hort.* 45: 261-272.
- Embleton, T. W. y W. W. Jones. 1974. Foliar applied nitrogen for citrus fertilization. *J. Environ. Quality* 3: 388-392.
- Embleton, T. W., W. W. Jones, CH. K. Labanuskas y W. Reuther. 1973. Leaf analysis as a diagnostic tool and guide to fertilization. pp. 184-210. *In: Citrus Industry*, 3rd ed. W. Reuther. University of California.
- García M., R., A. Carreón P. y J. Etchevers B. 1991. Evaluación nutrimental de los cítricos en Tamaulipas. pp. 103-115. *In: Memorias del I Simposium sobre Sistemas de Producción en Cítricos*. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México.

- Gómez C., M. A., R. Schwentesius R. y A. Barrera G. 1994. El limón Persa en México. Una opción para el trópico. CIESTAAM, Universidad Autónoma Chapingo y SARH. Chapingo, Méx.
- González, J., y C. G. Borroto. 1987. Use of plant growth regulators to control flowering in citrus. *Biology Plantarum* 29: 342-349.
- González, J., C. G. Borroto, M. Blanco, M. Escalona y N. Nieves. 1986. Control de la floración en cítricos. Relación con los contenidos de ácido giberélico y ácido abscísico. pp. 313-320. *In: Memorias del Simposium Internacional de Citricultura Tropical*. Instituto de Cítricos. La Habana, Cuba.
- Guardiola, M. 1992. Fruit set and growth. pp. 1-30. *In: Proc. Sec. Int. Seminar on Citrus*. Sao Paulo, Brazil.
- Hernández, R., C. Peralta P., C. Pérez M., G. Almaguer V. y J. R. Espinoza E. 1992. Evaluación de dosis y formas de aplicación de nitrógeno y fósforo en naranja cv. Valencia Tardía (*Citrus sinensis* L. Osbeck) en la zona norte de Veracruz. *Revista Chapingo* 78: 123-126.
- INEGI. 1988. Síntesis geográfica, nomenclatura y anexo cartográfico del estado de Veracruz. SSP. Aguascalientes, Ags.
- Kenworthy, A. L. 1967. Plant analysis and interpretation of analysis for horticultural crops. pp. 59-75. *In: M. Stelly* (ed). Soil testing and plant analysis. Special Publication No. 2. Madison, Wis., USA.
- Lovatt, C. J., Y. Zheng y K. D. Hake. 1988. Demonstration of a change in nitrogen metabolism influencing flower initiation in Citrus. *Israel J. Bot.* 37: 181-188.
- Maldonado T, R. y M. A. Vergara. 1993. Diagnóstico nutrimental de naranja (*Citrus sinensis* L. Osbeck), en varias regiones cítricas de México. pp. 111-121. *In: Memorias del II Simposium Sobre Sistemas de Producción en Cítricos*. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México.
- Monselise, S.P. 1979. The use of growth regulators in citriculture: a review. *Scientia Hort.* 11: 151-162.
- Núñez M., J. M. 1993. Condición nutrimental del manejo de la naranja en la costa de Hermosillo, Sonora, México. pp. 146-153. *In: Memorias II Simposium sobre Sistemas de Producción de Cítricos*. Universidad Autónoma Chapingo, Chapingo, México.
- Olsen, R.S. 1983. Interacción de los micronutrientes. pp. 267-289. *In: J.J. Mortvedt, P. M. Giordano y W.L. Lindsay* (Comp.) AGT editores. México.
- Orozco R., J. 1979. Estudio sobre las relaciones entre la fertilización con N, P, K, el análisis foliar, la producción y calidad de limón mexicano (*Citrus aurantifolia* (L) Swingle) Tesis de Maestría en Ciencias. Colegio de Postgraduados, Chapingo, México.
- Pérez, S. y P. Setién. 1986. Determinación del momento de diferenciación de las yemas florales en plantas del género *Citrus* tratadas con reguladores del crecimiento. pp. 321-326. *In: Memorias del Simposium Internacional de Citricultura Tropical*. Instituto de Cítricos. La Habana, Cuba.
- Reuther, D. J. y D. L. Robinson. 1986. *Plant Analysis: An Interpretative Manual*. Inkata Press, Melbourne, Australia.
- Sánchez A., H. M. 1984. Efecto de la distancia de plantación y prácticas de fertilización en la producción y crecimiento de limón (*Citrus aurantifolia*) injertado en *Macrophila* (*Citrus macrophilla* Wester). Tesis Profesional. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México.
- SARH. (Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos). 1993. Anuario Estadístico de la Producción Agrícola de los Estados Unidos Mexicanos. México.
- Saucedo C. 1992. Manual de prácticas de fisiología postcosecha. Centro de Fruticultura. Colegio de Postgraduados. Montecillo, México
- Saucedo C. y R. Arana E. 1993. Manejo postcosecha de frutos cítricos. pp. 157-167. *In: Memorias del II Simposium Sobre Sistemas de Producción en Cítricos*. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México.
- Toledo M., R. y J. D. Etchevers B. 1988. Estado nutricional de los cítricos en la sabana de Huimanguillo, Tabasco. *Terra* 6: 140-150.
- Walker, D. R. y C. W. Donoho. 1959. Further studies on the effect of giberellic acid on breaking the rest of young peach and apple trees. *Proc. Am. Soc. Hort. Sci.* 74: 87-92.

# FIJACION DE NITROGENO EN LAS FORMAS SILVESTRES DE FRIJOL

## Nitrogen Fixation in Wild Bean Forms

J.J. Almaraz S.<sup>1</sup>, R. Ferrera-Cerrato<sup>1</sup>, P. Ramírez V.<sup>2</sup> y M.L. Ortega-Delgado<sup>1</sup>

### RESUMEN

Se evaluó la capacidad de fijación de nitrógeno de 11 genotipos silvestres y cuatro cultivados de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) en condiciones de invernadero. Los genotipos silvestres tendieron a ser menos eficientes en la fijación de nitrógeno que los cultivados. Los silvestres CH631 y Tepozteco tuvieron contenidos de nitrógeno superiores a 27 mg en la parte aérea de la planta; similares a los obtenidos por los genotipos cultivados más sobresalientes. En cambio, del grupo de cepas de *Rhizobium etli* evaluadas, las provenientes de frijol silvestre tuvieron mayor eficiencia que la aislada de frijol cultivado. Las formas silvestres de frijol son una fuente genética potencial, que puede ser de utilidad en el mejoramiento del frijol cultivado, por lo que se requieren estudios de mayor amplitud.

**Palabras clave:** Fijación de nitrógeno, frijol silvestre, nodulación, *Rhizobium*.

### SUMMARY

The nitrogen fixation capacity of landrace and cultivated common beans (*Phaseolus vulgaris* L.) were evaluated under greenhouse conditions. Most of the wild genotypes were less efficient than cultivated forms in regard to their nitrogen fixation ability. Only CH631 and Tepozteco wild beans had more than 27 mg of nitrogen in the shoot, similar to that obtained by the outstanding cultivated genotypes. With respect to the strains of *Rhizobium etli* evaluated from landrace common bean they showed higher effectivity than those obtained from cultivated common beans. Landrace common bean have genetic pool that could be useful in the breeding program of cultivated common beans, however, more studies are needed to improve our knowledge of landrace common beans.

**Index words:** Nitrogen fixation, wild bean, nodulation, *Rhizobium*.

<sup>1</sup>Instituto de Recursos Naturales e <sup>2</sup>Instituto de Recursos Genéticos y Productividad, Colegio de Postgraduados, 56230 Montecillo, México.

Aceptado: Agosto de 1996.

### INTRODUCCION

Las formas silvestres de frijol poseen gran variabilidad genética, dada su amplia distribución en América, desde el norte de México hasta el sur de los Andes (Berglund-Brücher y Brücher, 1976; Gentry, 1969; Kaplan, 1981; Miranda, 1967). Estas presentan características que las distinguen de las variedades cultivadas, las más evidentes son las morfológicas (Miranda, 1967; Kaplan, 1981; Smartt, 1988).

Una característica común en frijoles silvestres y cultivados, es su habilidad para fijar nitrógeno atmosférico en simbiosis con bacterias del género *Rhizobium*. Aunque, esta característica se ha estudiado fundamentalmente en las variedades cultivadas (Bliss, 1987; Graham, 1981; Rosas y Bliss, 1986a). De hecho, la selección y el mejoramiento del frijol por su capacidad de fijación de nitrógeno se ha basado en la variabilidad existente en el germoplasma cultivado (Castellanos *et al.*, 1989; Gardezi, 1986; Pereira *et al.*, 1984; Rosas y Bliss, 1986a). Aun cuando la fijación puede alcanzar desde 10 hasta 130 kg de nitrógeno por hectárea (Ferrera-Cerrato *et al.*, 1984; Rennie y Kemp, 1984; Ruschel *et al.*, 1982), muchas variedades modernas fijan bajos niveles de nitrógeno (Bliss, 1987; Pereira *et al.*, 1989; Rosas y Bliss, 1986b). En estos genotipos los mayores niveles de fijación de nitrógeno han sido asociadas a ciclos biológicos tardíos y abundante área foliar (Graham, 1981; Graham y Halliday, 1977; Graham y Rosas, 1977), que permiten la prolongación de la actividad de la simbiosis más allá de la floración (Hungria y Neves, 1987; Minchin *et al.*, 1981).

Una fuente genética potencial disponible para incrementar la fijación de nitrógeno podría estar en los frijoles silvestres, dada su amplia diversidad y distribución geográfica. Los contenidos de proteína de 21.3 a 27 % que se han encontrado en algunas formas silvestres, en ocasiones superiores a los hallados en las variedades cultivadas (Vázquez y Cárdenas, 1990), pueden ser indicativo de una variabilidad amplia del componente genético de las características asociadas con la fijación de nitrógeno. La información al respecto es escasa; Pereira *et al.* (1989) encontraron bajos niveles de fijación de nitrógeno en formas silvestres en relación con variedades cultivadas. Algunas evidencias indican que las rizobias

capaces de establecer simbiosis con el frijol silvestre, en los centros de origen, manifiestan gran variabilidad en su efectividad (Almaraz *et al.*, 1990). Las cepas de *Rhizobium* provenientes de frijoles cultivados, aparentemente no tienen preferencia por cualquiera de los dos grupos de hospederos, cultivados o silvestres (Kipe-Nolt *et al.*, 1992). Sin embargo, algunos genotipos silvestres manifiestan baja afinidad hacia cepas que provienen de frijoles cultivados (Almaraz *et al.*, 1990; Ferrera-Cerrato, 1980). Lie *et al.* (1987) indican que los centros de origen de las leguminosas cultivadas son también centros de diversidad genética de *Rhizobium*, y por ello es posible encontrar cepas con gran variabilidad en la fijación de nitrógeno.

El objetivo de la presente investigación fue evaluar la capacidad de fijación de nitrógeno de un grupo de 11 genotipos silvestres y de cuatro cultivados de frijol, ya que las formas silvestres representan una fuente genética potencial que podría ser utilizada en programas de mejoramiento para incrementar la fijación de nitrógeno.

## MATERIALES Y MÉTODOS

El experimento se estableció en el invernadero del Colegio de Postgraduados, Chapingo, México; cuyas coordenadas geográficas son 19°29' de latitud norte y 98°54' de longitud oeste y su altitud de 2240 metros. Durante el experimento la temperatura en el invernadero fluctuó entre 18 y 30 °C, y el fotoperiodo fue de 13.5 h luz.

### Material Biológico

Se utilizaron tres cepas efectivas de *Rhizobium etli*, S18-2, S15-4 y CPME111. Las dos primeras fueron aisladas de nódulos de frijol silvestre, en el estado de Morelos, y la tercera fue aislada de nódulos de frijol cultivado, en Zacatecas. Estas cepas se cultivaron en medio líquido de extracto de levadura-manitol en agitación durante tres días, a 28 °C para obtener el inóculo con una concentración de 10<sup>9</sup> rizobias mL<sup>-1</sup> (Vincent, 1970).

El germoplasma de frijol empleado consistió en siete genotipos silvestres (cuatro originarios de México y tres provenientes de Argentina) y cuatro genotipos cultivados, sus características se presentan en el Cuadro 1. Las semillas de los genotipos silvestres se escarificaron en un extremo para permitir una germinación homogénea; después todas las semillas, incluyendo las de frijoles cultivados, se esterilizaron superficialmente con bicloruro de mercurio acidificado al 0.1 %.

## Conducción del Experimento

El sustrato de siembra fue tezontle lavado, el cual se esterilizó en autoclave a 18 lb por tres horas. Las macetas usadas, de 2 kg de capacidad, fueron desinfectadas con benzaldehído al 10 % y forradas con papel para evitar entrada de luz.

En condiciones de asepsia, se colocó un tubo de vidrio de 30 cm de largo a cada maceta; se adicionaron 500 mL de agua destilada estéril, y después se llenó con tezontle. En cada maceta se sembraron tres semillas de frijol y la parte superior fue cubierta con papel. En la emergencia fueron eliminadas las plantas sobrantes ajustándose a dos por maceta. La inoculación se realizó inmediatamente con las cepas correspondientes de *Rhizobium etli*, agregando 1 mL de inóculo al pie del tallo, en una concentración de 10<sup>9</sup> rizobias mL<sup>-1</sup>. Cada tres o cuatro días se aplicaron riegos a través del tubo de vidrio, alternando agua destilada estéril y solución nutritiva de Sandman sin nitrógeno (Centro Internacional de Agricultura Tropical-CIAT, 1988).

## Diseño Experimental y Variables de Estudio

Los tratamientos se distribuyeron en un diseño experimental de bloques al azar en un arreglo factorial 4X11 con tres repeticiones. El factor cepas involucró tres cepas de *Rhizobium etli* y un testigo sin inocular y sin fertilizar. El factor genotipo incluyó a siete genotipos silvestres y cuatro cultivados. La unidad experimental consistió de una maceta con dos plantas.

La mayoría de los genotipos fueron cosechados en la etapa de floración; y aquellos que no florecieron se cosecharon a los 55 días después de la siembra (Cuadro 1). La parte aérea de la planta fue separada para cuantificar materia seca. La raíz se sacó del sustrato y se colocó en botes de plástico de 1200 mL de volumen, cerrados herméticamente; después se extrajo 10 % de aire y se inyectó una cantidad equivalente de acetileno, dejando incubar por una hora. Se tomaron muestras de 5 mL de la fase gaseosa en tubos vacutainer y fueron analizadas en un cromatógrafo de gases marca Varian 1440 con detector de ionización de flama y una columna de 2 m de largo y 1/8 de pulgada de diámetro, empacada con Porapak N, para determinar la actividad de la enzima nitrogenasa por la técnica de reducción de acetileno (Hardy *et al.*, 1973). Los nódulos fueron desprendidos de la raíz, contados, secados y pesados. La actividad específica se obtuvo dividiendo la actividad nitrogenasa

**Cuadro 1. Características de los genotipos de frijol evaluados en el estudio. Chapingo, México.**

Genotipo	Tipo	Días a floración†	Peso 100 semillas	Hábito de crecimiento	Origen
El Saltito	Silvestre	NF	4.1	IV	Durango, México
Santiago Bayacora	Silvestre	52	4.9	IV	Durango, México
Tepozteco	Silvestre	NF	2.5	IV	Morelos, México
CH-631	Silvestre	NF	5.4	IV	México
CH-617	Silvestre	45	10.4	IV	Argentina
CH-620	Silvestre	47	10.2	IV	Argentina
CH-762	Silvestre	45	10.8	IV	Argentina
Bayomex	Cultivado	42	52.5	I	México
X-16441	Cultivado	46	44.4	IV	México
Jamapa	Cultivado	47	38.8	II	Veracruz, México
Negro Puebla	Cultivado	50	19.3	III	México

† Datos obtenidos en este estudio. NF - No floreció y se cosechó a los 55 días.

**Cuadro 2. Características simbióticas de 11 genotipos de frijol en la etapa de floración. Chapingo, México.**

Genotipo	Tipo	Número de nódulos	Peso seco nódulos	Actividad nitrogenasa	Actividad específica
		nódulos planta <sup>-1</sup>	mg planta <sup>-1</sup>	C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> µmoles planta <sup>-1</sup> h <sup>-1</sup>	C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> µmoles planta <sup>-1</sup> g <sup>-1</sup> h <sup>-1</sup>
El Saltito	S	84.7 d	45.6 e	1.93 b	40.72
Santiago Bayacora	S	121.8 bc	71.9 bcd	2.32 b	55.61
Tepozteco	S	200.7 a	85.4 abcd	2.23 b	64.06
CH-631	S	173.0 a	107.0 a	2.86 b	39.90
CH-617	S	136.7 b	67.7 cde	3.44 ab	51.15
CH-620	S	192.9 a	88.1 abcd	2.76 b	36.26
CH-762	S	173.4 a	91.3 abc	2.02 b	18.56
Bayomex	C	101.0 cd	64.4 de	2.40 b	66.64
Jamapa	C	106.4 bcd	90.8 abc	3.12 b	40.47
Negro Puebla	C	197.1 a	93.7 ab	3.27 b	33.83
X-16441	C	204.0 a	82.4 abcd	5.06 a	76.47
Promedio		153.7	77.1	2.85	47.60
Coef. variación		17.3	20.1	30.02	62.15

Medias con la misma letra no son significativamente diferentes (Tukey,  $\alpha \geq 0.05$ ). S = Silvestre. C = Cultivado.

entre el peso seco de nódulos. Se tomó 0.1 g de materia seca previamente molida para cuantificar nitrógeno total por el procedimiento SemiMicrokjeldahl (Bremner, citado por Etchevers, 1987). La información obtenida fue analizada estadísticamente con el paquete SAS (Statistical Analysis System).

## RESULTADOS Y DISCUSION

Los genotipos silvestres presentaron desde 84 a 200 nódulos y los cultivados desde 101 a 204 nódulos (Cuadro 2). Los genotipos con mayor nodulación fueron los silvestres Tepozteco y CH620, y los cultivados X-16441 y Negro Puebla. En la mayoría de los genotipos el peso seco de nódulos varió de 82.4 a 93.7 miligramos. Aunque, el menor peso seco de nódulos fue obtenido por el silvestre El Saltito, con 45.6 mg y el mayor por el silvestre CH631, con 107 mg (Cuadro 2).

La actividad nitrogenasa presentó poca variación. Los genotipos silvestre CH617 y cultivado X-16441 tuvieron

la mayor actividad nitrogenasa, con 3.44 y 5.06 µmoles, respectivamente. No se encontraron diferencias significativas en la actividad específica. Sin embargo, los genotipos cultivados X-16441 y Bayomex, y el silvestre Tepozteco presentaron la mayor actividad específica, con 76.5, 66.6 y 64.0 µmoles, respectivamente (Cuadro 2).

La mayor parte de los genotipos silvestres presentaron menor producción de materia seca en la parte aérea de la planta que los genotipos cultivados; el peso seco de la parte aérea varió de 0.97 a 1.63 g en los silvestres y de 1.49 a 1.88 g en los cultivados (Figura 1). Ninguno de los genotipos silvestres fueron superiores a los cultivados en el contenido de nitrógeno de parte aérea. La comparación de medias indicó que la mayoría de los genotipos son iguales estadísticamente en esta variable. No obstante, los mayores contenidos fueron obtenidos por los genotipos cultivados X-16441, Negro Puebla y Bayomex y los silvestres Tepozteco y CH631, en un rango de 27.5 a 32.2 mg (Figura 1).

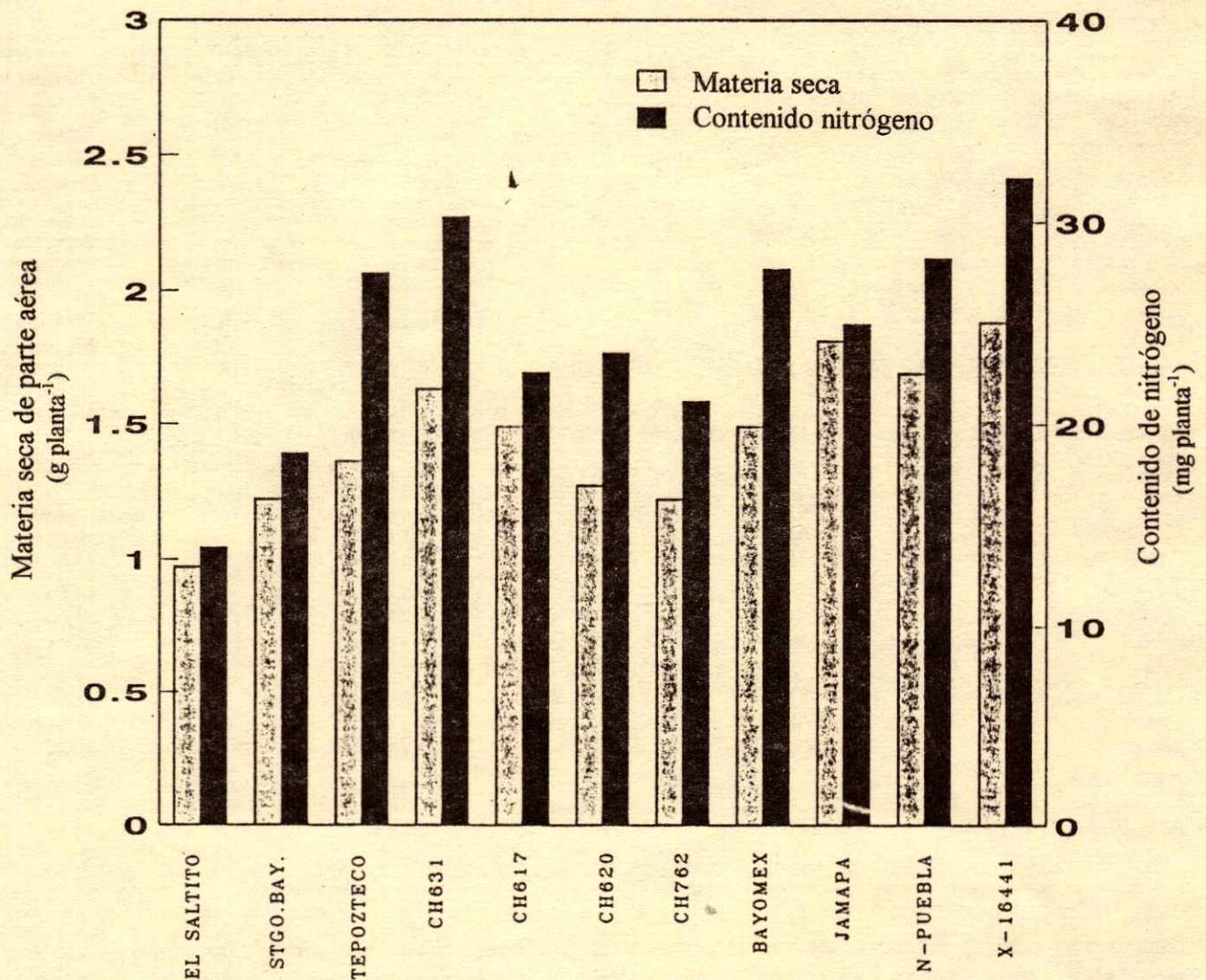


Figura 1. Producción de materia seca y contenido de nitrógeno en once genotipos de frijol inoculados con *Rhizobium etli*.

Cuadro 3. Contrastes entre grupos silvestres y cultivados de frijol para la producción de materia seca. Chapingo, México.

Contraste	Grados de libertad	Cuadrado medio	Materia seca	Diferencia
SM vs C	1	4.3520 **	1.295 vs 1.758	-0.463 **
SM vs SA	1	0.0007 ns	1.295 vs 1.327	-0.032 ns
C vs SA	1	3.3802 **	1.718 vs 1.327	0.391 **
S vs C	1	5.0692 **	1.309 vs 1.718	-0.409 **
Error	86	0.0923		

SM = Silvestres mexicanos, SA = Silvestres argentinos, C = Cultivados. \*\* Altamente significativo ( $\alpha \leq 0.01$ ), ns = No significativo.

La comparación en contrastes de ambos grupos, silvestres y cultivados, en la producción de materia seca y contenido de nitrógeno de la parte aérea de la planta, mostró que el grupo de silvestres fue inferior al grupo de cultivados en fijación de nitrógeno (Cuadros 3 y 4). Este resultado puede estar determinado por las diferencias en el

patrón de crecimiento entre los dos grupos de genotipos (Smartt, 1988). También pudo influir la diferente cantidad de reservas en la semilla, dado que los frijoles silvestres presentan semillas más pequeñas (Cuadro 1). El crecimiento inicial de los frijoles silvestres es más lento que el de los cultivados (Smartt, 1988); esta característica

**Cuadro 4. Contrastes entre grupos silvestres y cultivados de frijol para el contenido de nitrógeno en la parte aérea. Chapingo, México.**

Contraste	Grados de libertad	Cuadrado medio	Contenido de N mg	Diferencia
SM vs C	1	790.3062	22.54 vs 28.28	-5.74 **
SM vs SA	1	4.0974	22.54 vs 22.40	0.14 ns
C vs SA	1	738.1373	28.28 vs 22.40	5.88 **
S vs C	1	990.3725	22.48 vs 28.28	-5.80 **
Error	86	54.0505		

SM = Silvestres mexicanos, SA = Silvestres argentinos, C = Cultivados. \*\* Altamente significativo ( $\alpha \leq 0.01$ ), ns = No significativo.

**Cuadro 5. Características simbióticas de tres cepas de *Rhizobium etli* en la etapa de floración. Chapingo, México.**

Cepa	Número de nódulos	Peso seco nódulos	Actividad nitrogenasa	Actividad específica
	nódulos planta <sup>-1</sup>	mg planta <sup>-1</sup>	C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> $\mu$ moles planta <sup>-1</sup> h <sup>-1</sup>	C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> $\mu$ moles planta <sup>-1</sup> g <sup>-1</sup> h <sup>-1</sup>
CPMEX111	174.7 a	88.2 a	2.32 b	24.53 b
S18-2	110.0 b	60.3 b	3.41 a	73.90 a
S15-4	176.7 a	93.7 a	2.83 ab	44.39 b
Promedio	153.8	80.7	2.85	47.60
Coef. variación	17.3	20.1	30.02	62.15

Medias con la misma letra no son significativamente diferentes (Tukey,  $\alpha \geq 0.05$ ).

puede poner en desventaja a los silvestres cuando se comparan los dos grupos en etapas tempranas de crecimiento. No obstante el inconveniente de la comparación, fue posible identificar por sus características simbióticas y por el contenido de nitrógeno a los genotipos Silvestres Tepozteco y CH631, y a los cultivados Negro Puebla y X-16441, como buenos fijadores de nitrógeno.

Las cepas S15-4 y CPMEX111 indujeron la mayor nodulación, con más de 170 nódulos, en comparación con la obtenida con la cepa S18-2, que tuvo 110 nódulos. Un comportamiento similar se observó con el peso seco de nódulos (Cuadro 5). La cepa S18-2, aun cuando indujo baja nodulación tuvo la mayor actividad nitrogenasa, cuyo valor fue de 3.4  $\mu$ moles; aunque fue estadísticamente igual a la obtenida con la cepa S15-4, que mostró una actividad de 2.8  $\mu$ moles. La cepa CPMEX111 presentó la menor actividad nitrogenasa, siendo de 2.3  $\mu$ moles (Cuadro 5). La mayor producción de materia seca y el mayor contenido de nitrógeno fueron obtenidos con las cepas S18-2 y S15-4 con respecto a la cepa CPMEX111 (Cuadro 6). Estos resultados sugieren que no siempre las cepas que inducen el más alto número y peso seco de nódulos son las que tienen la más alta efectividad.

Se ha observado que cuando una cepa produce mayor nodulación, los nódulos son pequeños, mientras que cuando una cepa forma pocos nódulos, estos son grandes (Rodríguez, 1983). En este caso, la cepa S18-2 manifestó mayor actividad específica que las otras dos, siendo más

**Cuadro 6. Efecto de la cepa de *Rhizobium etli* en el peso seco de la parte aérea y el contenido de nitrógeno de frijol. Chapingo, México.**

Genotipo	Peso seco parte aérea	Contenido de N
	g planta <sup>-1</sup>	mg planta <sup>-1</sup>
CPMEX111	1.49 b	23.79 b
S18-2	1.85 a	32.83 a
S15-4	1.77 a	33.88 a
Testigo (-N)	0.71 c	8.35 c
Promedio	1.45	24.71
Coef. variación	20.87	29.89

Medias con la misma letra no son significativamente diferentes ( $\alpha \geq 0.05$ ).

eficiente en fijar nitrógeno con una menor nodulación (Cuadros 5 y 6).

Las cepas S15-4 y S18-2 fueron aisladas de frijoles silvestres, mientras que CPMEX111 proviene de frijol cultivado. Lo cual conduce a suponer que existen cepas de *Rhizobium* asociadas a frijoles silvestres que manifiestan una efectividad igual o superior a la obtenida en cepas provenientes de frijoles cultivados. Esto fue observado previamente por Almaraz *et al.* (1990), quienes además observaron una variabilidad en la efectividad. Lo cual podría significar que las cepas de *Rhizobium* asociadas a frijoles silvestres son una fuente genética con potencial para mejorar la fijación de nitrógeno en frijol cultivado. Se ha demostrado en el chícharo que los centros de origen de las leguminosas cultivadas son centros de diversidad genética de *Rhizobium*, donde es posible encontrar cepas

Cuadro 7. Coeficientes de correlación entre características asociadas con la fijación de nitrógeno en frijol. Chapingo, México.

	Número nódulos	Peso nódulos	Actividad nitrogenasa	Actividad específica	Materia seca	Contenido de N
Número nódulos						
Peso nódulos	0.681*					
Actividad nitrogenasa	0.407	0.241				
Actividad específica	-0.006	-0.314	0.443			
Materia seca	0.322	0.540	0.797**	0.312		
Contenido de N	0.606*	0.639*	0.627*	0.396	0.834**	
Días a floración	0.134	0.006	-0.140	0.133	-0.225	-0.117

\*\* Altamente significativa ( $\alpha \leq 0.01$ ), \* Significativa ( $\alpha \leq 0.05$ ), n = 132 observaciones.

con gran variabilidad en la fijación de nitrógeno (Lie *et al.*, 1987).

En esta investigación, el número y el peso seco de nódulos, la actividad nitrogenasa y la materia seca mostraron alto grado de asociación con el contenido de nitrógeno de la parte aérea, exceptuando la actividad específica que presentó baja correlación (Cuadro 7). Los resultados indican que la fijación de nitrógeno guarda una relación directa con la cantidad de masa nodular presente en la raíz y con la actividad de la enzima nitrogenasa de los nódulos. Cuando no se dispone de métodos sofisticados para evaluar directamente la cantidad de nitrógeno fijado, estas características simbióticas y la producción de materia seca han sido usadas con éxito en la selección de genotipos fijadores de nitrógeno (Bliss, 1987; Gardezi, 1986; Pereira *et al.*, 1984), debido a que están relacionadas con la capacidad de fijación de nitrógeno (Rosas y Bliss, 1986a,b); relación que también fue comprobada en nuestro estudio.

La mayoría de los genotipos fueron cosechados en la etapa de floración y los que no florecieron a los 55 días después de la siembra; así, los días a la cosecha variaron de 42 a 55 días (Cuadro 1). A pesar de esta variación, no se encontró correlación entre el tiempo de cosecha y el contenido de nitrógeno (Cuadro 7). Sólo los genotipos cultivado X-16441 y silvestre Tepozteco que fueron muestreados a los 52 y 55 días, respectivamente, tuvieron alto contenido de nitrógeno, en cambio Bayomex que floreció a los 42 días tuvo también alto contenido de nitrógeno (Figura 1). Diferentes investigadores han hecho hincapié en que los genotipos más tardíos son los que tienen períodos más largos de fijación de  $N_2$  que los de ciclo corto (Bliss, 1987; Graham, 1981; Graham y Halliday, 1977). En el presente estudio no se evaluó hasta madurez fisiológica, ya que es preliminar, enfocado principalmente a la evaluación de la nodulación y la actividad de la enzima nitrogenasa. En la etapa de

floración dichas características simbióticas alcanzan, en la mayoría de los casos, su máxima expresión (Minchin *et al.*, 1981), por lo que es una etapa idónea de muestreo, pero no es concluyente, ya que cada genotipo tiene diferente ciclo biológico, evidenciado por el tiempo a la floración (Cuadro 1) y, por lo tanto, el efecto de la fijación de nitrógeno sólo podrá determinarse en su magnitud total al final del ciclo, considerando en especial que los genotipos de hábito indeterminado pueden continuar fijando nitrógeno después de la floración (Hungría y Neves, 1987; Pereira *et al.*, 1989).

Uno de los pocos estudios existente sobre la fijación de nitrógeno de frijoles silvestres fue realizado en condiciones de campo, en el cual fue posible comparar un grupo de genotipos cultivados y dos genotipos silvestres; el estudio, realizado con  $^{15}N$ , detectó bajos niveles de  $N_2$  fijado en los genotipos silvestres (Pereira *et al.*, 1989). Estos resultados contrastan con los de la presente investigación, puesto que algunos genotipos silvestres expresaron en buena magnitud sus características simbióticas, como Tepozteco y CH631 (Cuadro 2). Este hallazgo es particularmente interesante, ya que los frijoles silvestres de hábito trepador, con gran capacidad para producir ramas, continúan creciendo después del inicio de la floración (Miranda, 1967; Smartt, 1988), lo que conduciría a suponer que la fijación de  $N_2$  continuaría en etapas posteriores de desarrollo.

Dado el potencial que representa la diversidad de los frijoles silvestres y por los resultados de esta investigación, se sugiere continuar el estudio sobre la fijación de nitrógeno, incluyendo una mayor variación genotípica, tanto en número como en origen de las colectas. Adicionalmente, será recomendable realizar un perfil estacional de la nodulación y de la fijación de nitrógeno, y sobre todo evaluar el efecto de la fijación de nitrógeno en el rendimiento y producción de materia seca al final del ciclo biológico.

## CONCLUSIONES

1. Los genotipos cultivados superaron a los silvestres en la fijación de nitrógeno; sólo las colectas CH631 y Tepozteco presentaron una fijación comparable a la de los genotipos cultivados más sobresalientes como X-16441 y Negro Puebla.
2. Alto contenido de nitrógeno en la planta se asoció a mayor nodulación y a mayor actividad nitrogenasa; estas características simbióticas pueden ser útiles para seleccionar genotipos fijadores de nitrógeno.
3. Las cepas aisladas de frijol silvestre manifestaron mayor efectividad que la de frijol cultivado; lo cual sugiere que las cepas de *Rhizobium* de frijoles silvestres pueden ser un recurso microbiano valioso para ser aprovechado en frijol cultivado.
4. El germoplasma silvestre podría representar una fuente genética para mejorar la fijación de nitrógeno en frijol cultivado. No obstante, es necesario realizar estudios más amplios y profundos con el propósito de identificar genotipos sobresalientes.

## LITERATURA CITADA

- Almaraz S., J.J., R. Ferrera-Cerrato y J. Acosta G. 1990. Estudio preliminar de la relación simbiótica entre *Rhizobium leguminosarum* biovar *phaseoli* y frijol silvestre de México. Resúmenes de la XV Reunión Latinoamericana de Rhizobiología. 19-23 de nov. Guatemala, C.A.
- Berglund-Brücher, O y H. Brücher. 1976. The South American wild bean (*Phaseolus aborigineus* Burk.) as ancestor of the common bean. *Econ. Bot.* 30: 257-272.
- Bliss, F.A. 1987. Host plant control of symbiotic N<sub>2</sub> fixation in grain legumes. p. 479-493. In: Gabelman, H.W. y B.C. Loughman (eds). Genetic aspects of plant mineral nutrition. Nijhoff Publishers. Dordrecht/Boston/Lancaster.
- Castellanos, J.Z., J.J. Peña C. y J.A. Acosta G. 1989. Evaluación preliminar de la capacidad de fijación de N<sub>2</sub> y de tolerancia a la sequía de 35 genotipos de frijol durante primavera en Celaya, Gto. p. 51-59. In: Acosta G., J. (ed.). Informe de investigación sobre frijol. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales y Agropecuarias. Durango, Dgo.
- Centro Internacional de Agricultura Tropical. CIAT. 1988. Simbiosis leguminosa-rizobio. Manual de métodos de evaluación, selección y manejo agronómico. Cali, Colombia.
- Etchevers B., J. 1987. Determinación de nitrógeno en suelos. p. 45-83. In: Aguilar S., A., J. Etchevers B. y J. Castellanos R. (eds). Análisis químico para evaluar la fertilidad del suelo. Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo. Chapingo, México.
- Ferrera-Cerrato, R. 1980. Inoculación de *Rhizobium phaseoli* a diferentes especies del género *Phaseolus* originarias de México. *Rev. Lat-amer. Microbiol.* 22: 175-180.
- Ferrera-Cerrato, R., E. López A., J. Etchevers B. y R. Núñez E. 1984. Utilización de <sup>15</sup>N en la evaluación de la fijación simbiótica de N<sub>2</sub> en el cultivo de frijol (*Phaseolus vulgaris*). XII Reunión Latinoamericana sobre *Rhizobium*. 21-26 de octubre. Campinas, Sp., Brasil.
- Gardezi, A.K. 1986. Selección de genotipos de *Phaseolus vulgaris* de alta eficiencia en la fijación de nitrógeno asociado con *Rhizobium phaseoli*. Tesis de Maestría. Colegio de Postgraduados. Chapingo, México.
- Gentry, H.S. 1969. Origin of the common bean, *Phaseolus vulgaris*. *Econ. Bot.* 23: 55-69.
- Graham, P.H. 1981. Some problems of nodulation and symbiotic N<sub>2</sub> fixation in *Phaseolus vulgaris*. A review. *Field Crop Research* 4: 93-112.
- Graham, P.H. y J. Halliday. 1977. Inoculation and nitrogen fixation in the genus *Phaseolus*. p. 313-334. In: Exploring the legume-*Rhizobium* symbiosis in tropical agriculture. Eds. J.M. Vincent et al. Hawaii Misc. Publ.
- Graham, P.H. y J.C. Rosas. 1977. Growth and development of indeterminate bush and climbing cultivars of *Phaseolus vulgaris* L. inoculated with *Rhizobium*. *J. Agric. Sci.* 88: 503-508.
- Hardy, R.W.F., R.C. Burns y R.D. Holsten. 1973. Applications of the acetylene-ethylene assay for measurement of nitrogen fixation. *Soil Biol. Biochem.* 5: 47-81.
- Hungria, M. y M.C.P. Neves. 1987. Partitioning of nitrogen from biological fixation and fertilizer in *Phaseolus vulgaris*. *Physiol. Plant.* 69: 55-63.
- Kaplan, L. 1981. What is the origin of the common bean? *Econ. Bot.* 35: 240-254.
- Kipe-Nolt, J.A., C.M. Montealegre y J. Tohme. 1992. Restriction of nodulation by broad host range *Rhizobium tropici* strain CIAT899 in wild accessions of *Phaseolus vulgaris* L. *New Phytol.* 120: 489-494.
- Lie, T.A., D. Goktan, M. Engin, J. Pijnenborg y E. Anlarsal. 1987. Co-evolution of the legume-*Rhizobium* association. *Plant and Soil* 100: 171-181.
- Minchin, F.R., R.J. Summerfield, P. Hadley, E.H. Roberts y S. Rawsthorne. 1981. Carbon and nitrogen nutrition of nodulated roots of grain legumes. *Plant, Cell and Environ* 4: 5-26.
- Miranda, C.S. 1967. Origen de *Phaseolus vulgaris* L. (Frijol común). *Agrociencia* 1: 99-109.
- Pereira, P.A.A., R.S. Araujo, R.E. Rocha y S. Steinmentz. 1984. Capacidade de genotipos de feijoeiro de fixar N<sub>2</sub> atmosférico. *Pesq. Agropec. Bras.* 19: 811-815.
- Pereira, P.A.A., R.H. Burris y F.A. Bliss. 1989. N-determined dinitrogen fixation potential of genetically diverse bean lines (*Phaseolus vulgaris* L.). *Plant and Soil* 120: 171-179.
- Rennie, R.J. y G.A. Kemp. 1984. <sup>15</sup>N-determined time course for N<sub>2</sub> fixation in two cultivars of field bean. *Agron. J.* 76: 146-154.
- Rodríguez M., M.N. 1983. Estudio y caracterización de la relación simbiótica de *Rhizobium phaseoli* en frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) de distintos hábitos de crecimiento. Tesis profesional. Universidad Nacional Autónoma de México. México, D.F.
- Rosas, J.C. y F.A. Bliss. 1986a. Host plant traits associated with estimates of nodulation and nitrogen fixation in common bean. *HortScience* 21: 287-289.
- Rosas, J.C. y F.A. Bliss. 1986b. Mejoramiento de la capacidad de fijación de nitrógeno en frijol común. *Ceiba* 27: 95-104.

- Ruschel, A.P., P.B. Vose, E. Matsui, R.L. Victoria y S.M.T. Saito. 1982. Field evaluation of N<sub>2</sub>-fixation and nitrogen utilization by *Phaseolus* bean varieties determined by <sup>15</sup>N isotope dilution. *Plant and Soil* 65: 397-407.
- Smartt, J. 1988. Morphological, Physiological and Biochemical changes in *Phaseolus* beans under domestication. p. 143-161. *In*: P. Gepts (ed). Resources of *Phaseolus* beans. Kluwer, Dordrecht, Netherlands.
- Vázquez C., G. y F. Cárdenas R, 1990. Características físicas, tecnológicas y proteínicas de frijoles (*Phaseolus vulgaris* L.) silvestres y cultivados. Resúmenes XIII Congreso Nacional de Fitogenética. 3-7 de sept. Ciudad Juárez, Chihuahua.
- Vincent, J.M. 1970. A manual for practical study of root-nodule bacteria. Blackwell Scientific Publications. Oxford.

# FAUNA DEL SUELO DE LA SABANA DE HUIMANGUILLO ALTERADA POR CAMBIOS EN EL USO DE LA TIERRA

## Soil Fauna of the Huimanguillo Savanna Disturbed by Soil Use Changes

Víctor M. Ordaz Chaparro<sup>1</sup>, Isabel Barois<sup>2</sup> y Andrés Aguilar Santelises<sup>3</sup>

### RESUMEN

El cambio de uso del suelo en la sabana de Huimanguillo del estado de Tabasco produjo un cambio en las poblaciones faunísticas. Para estudiar este impacto se realizó un estudio de la fauna del suelo (en época de secas), en ocho sitios, distribuidos en áreas de selva, potrero y plantaciones de cítricos de tres edades diferentes, con dos lugares de observación: la sombra de los árboles y entre las hileras. Se obtuvo la densidad (número de individuos m<sup>-2</sup>), la biomasa (g m<sup>-2</sup>), la diversidad de las unidades taxonómicas y la distribución vertical. Se identificó a la lombriz de tierra *Pontoscolex corethrurus* como la especie dominante. Los resultados obtenidos ponen en evidencia las alteraciones en las poblaciones, sobretodo en la sombra de las plantaciones donde se combaten químicamente a las malezas, lo que provoca una falta de aportación de materia orgánica.

**Palabras clave:** Lombriz de tierra, sabana tropical, cítricos.

### SUMMARY

Changes in soil use at the Huimanguillo Savanna, State of Tabasco, México, caused alterations in soil faunal communities. In order to study this impact, soil fauna was described (dry season) in eight locations from forestall areas, pasture grounds and plantations of citrus species at three different growth stages with two observation sites, under the trees (shadow) and

<sup>1</sup> Colegio de Postgraduados en Ciencias Agrícolas. carr. México- Texcoco km 36.5, 56230 Montecillo, Estado de México, México. E-mail: ordaz@colpos.colpos.mx

<sup>2</sup> Instituto de Ecología, Apartado Postal 63, 91000 Xalapa, Veracruz, México.

<sup>3</sup> Departamento de Suelos, Universidad Autónoma Chapingo. carr. México- Texcoco km 38.5, 56230 Chapingo, Estado de México, México.

Aceptado: Septiembre de 1996.

between trees (streets). Population densities, biomass, diversity of taxonomic units, and vertical distribution, were determined. Earthworms were detected as the dominant species. Results evidenced alterations in the communities, particularly at the shadow sites in the plantations, where pesticides are applied to eliminate weeds, causing a decrease in organic matter.

**Index words:** Earth-worm, tropical savanna, citrus.

### INTRODUCCION

En las regiones tropicales, las características de las prácticas de producción establecen verdaderas luchas en contra de las malezas, plagas y enfermedades que inciden en los cultivos. Bajo estas condiciones, el empleo de agroquímicos resulta intenso y, por consecuencia, sus efectos. La deforestación y el remplazamiento de la selva por praderas es otra práctica que altera a las poblaciones del suelo. Lavelle *et al.* (1981) afirman que las poblaciones faunísticas en general son menos abundantes y diversificadas dentro de los medios herbáceos; los animales que habitan en el mantillo, los estraminívoros y depredadores disminuyen fuertemente su presencia. La eliminación casi total del mantillo que les sirve de alimento y de abrigo a las diversas poblaciones además de las modificaciones del microclima que se forma en la superficie del suelo, son responsables de esta disminución. La biomasa de las poblaciones es, sin embargo, más elevada dentro de los medios herbáceos gracias al desarrollo de los grupos endógenos, tales como las lombrices de tierra geófagas y las larvas de coleópteros rizófagas.

Los procesos edáficos donde interviene la fauna del suelo están relacionados con la fertilidad, la agregación y la mineralización de la materia orgánica. Con su movilidad forman conductos en el interior del suelo, fomentan los movimientos de los flujos y mezclan los materiales superficiales a diversas profundidades. Lee, citado por Berthelin y Toutain (1979), detalló el papel de las lombrices de tierra en la pedogénesis

(transformación de las propiedades físicas, de la materia orgánica, de la distribución de los elementos) y dentro de la fertilidad de los suelos; concluyó que el papel de las lombrices de tierra debe ser aceptado como proceso de formación del suelo. Lavelle *et al.* (1992) afirman que las lombrices de tierra endógeas (las que viven dentro del sustrato mineral y se alimentan de materia orgánica muerta) pueden ingerir el suelo en una proporción de cinco a 30 veces su propio peso; la mayor parte de suelo ingerido es dejado dentro del suelo mismo (80 %) y solamente una pequeña parte es llevado a la superficie (20 %).

Las alteraciones que sufre el suelo cuando es cambiado de uso, son diversas y de diferentes magnitudes; las poblaciones faunísticas son indicadores de alteración del medio edáfico. Su presencia está relacionada con el tipo y naturaleza de cobertura vegetal que, a su vez, depende del uso del suelo. En el presente estudio se planteó el objetivo de evaluar el impacto en la fauna edáfica de la sabana de Huimanguillo, Tabasco, después de haber cambiado de uso forestal a pecuario y finalmente a uso agrícola.

## MATERIALES Y METODOS

La sabana de Huimanguillo del estado de Tabasco está situada en una altitud promedio de 15 m, con clima cálido húmedo y lluvias en otoño, la vegetación (primaria de la sabana) está asociada con selva alta perenne y selva media subperenne (West *et al.*, 1987). Los suelos son ácidos de baja fertilidad y fuertemente desaturados, predomina una sola unidad: "Acrisoles" (FAO/UNESCO, 1988).

El estudio faunístico se llevó a cabo en una misma unidad de suelo, Acrisol plíntico, sometido a tres usos distintos: forestal, pecuario y agrícola. Se seleccionaron ocho sitios de muestreo, localizados en un transecto norte-sur de 4 kilómetros:

- a) el primer sitio correspondió a un relicto de selva inalterada cuando menos en los últimos cien años (comunicación personal de productores);
- b) el segundo a un potrero sometido a la explotación de ganadería extensiva (bovinos);
- c) los seis sitios restantes fueron seleccionados en plantaciones de cítricos (naranjos) de dos, cinco y diez años de edad, con dos lugares de observación por huerta, uno bajo los árboles (sombra) y otro entre dos hileras de ellos (calles).

El método de exploración que se utilizó fue el recomendado por 'Tropical Soil Biology and Fertility Programme' (Anderson y Ingram, 1989). Dentro de cada sitio se establecieron transectos de 25 m y se tomaron cinco muestras con un intervalo de 5 metros. A partir de un monolito de 25x25x30 cm, dividido en tres capas de 10 cm, se colectaron todos los invertebrados detectados a simple vista, posteriormente fueron fijados en formol al 4 % y clasificados para determinar por cada sitio, la densidad (número de individuos m<sup>-2</sup>), la biomasa (g m<sup>-2</sup>) y la diversidad de las unidades taxonómicas (orden o familias).

## RESULTADOS Y DISCUSION

La exploración de la fauna del suelo fue hecha durante la estación seca (mes de febrero), en esta época la presencia de todos los organismos se reduce en comparación a la época de lluvias.

### Dinámica de las Poblaciones

La macrofauna está constituida por 987 individuos m<sup>-2</sup> en promedio, varía de 2021 a 192; esta densidad es dominada por tres unidades taxonómicas (UT): las lombrices de tierra (353 m<sup>-2</sup>), las termitas (317 m<sup>-2</sup>) y las hormigas (215 m<sup>-2</sup>). El resto de la población está constituida por otras unidades taxonómicas de menor abundancia.

En los sitios potrero y 10 años sombra existe una baja densidad de individuos (320 y 192 m<sup>-2</sup>, respectivamente), que corresponde a la ausencia de UT como las hormigas y termitas.

### Diversidad de las Unidades Taxonómicas (UT)

La diversidad de las UT entre sitios es muy grande, pasa de cuatro a 14, lo que permite prejuizar la diferencia observada entre sitios (Figura 1). Es importante señalar la presencia de especies de lombrices de tierra como *Ocnerodrilus occidentalis* en el sitio de selva y *Dichogaster sp3* en el sitio de potrero, por el contrario la ausencia de la especie *Dichogaster saliens*, las termitas y hormigas, dentro de los sitios: selva, plantación de 10 años, tanto en las calles como en la sombra.

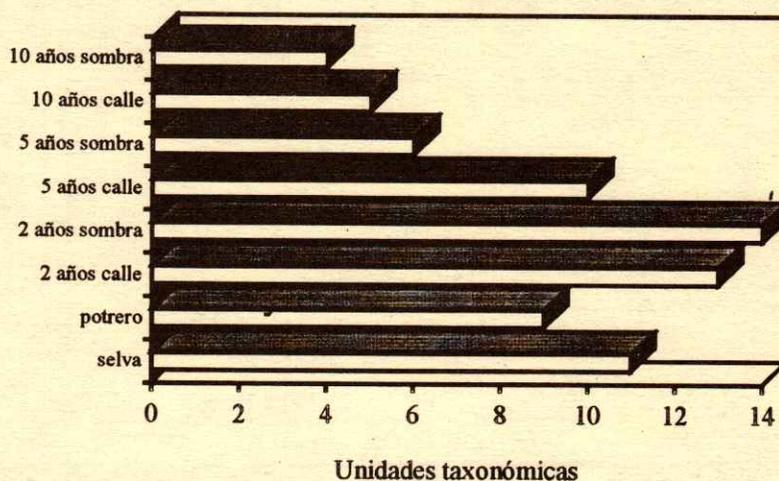


Figura 1. Diversidad de unidades taxonómicas en los ocho sitios estudiados.

### Distribución Vertical

La mayor parte de los individuos habitan dentro del primer estrato de 0 a 10 cm (64.6 % en promedio, Cuadro 1, Figura 2), excepto para dos de los sitios: plantación de dos años, calle (35.8 %) y sombra (45.7 %), que se distribuyen en todo el estrato de exploración (30 centímetros). Las cifras corresponden más a las poblaciones de lombrices de tierra (potrero 182 m<sup>2</sup> y 10 años sombra 101 m<sup>2</sup>). La biomasa promedio es de 43.89 g m<sup>-2</sup> (peso fresco, Cuadro 1), está esencialmente formada por lombrices de tierra (74.8 % en promedio). Las cifras más elevadas de biomasa corresponden a los individuos de las plantaciones de cinco años, tanto en las calles como en la sombra. En los sitios: selva, plantación de dos años calle y 10 años sombra, la poca cantidad de biomasa está ligada a la baja densidad de lombrices de tierra. Por el contrario, dentro de los sitios selva y dos años calle hay una muy fuerte población de termitas (bajas en biomasa).

### Poblaciones de Lombrices de Tierra

Las poblaciones de lombrices de tierra en la zona de estudio, comprenden cuatro diferentes especies las cuales pertenecen a tres diferentes géneros y a tres familias (Cuadro 2, Figura 3). La especie más numerosa fue *Pontoscolex corethurus*, que representa 83 % de la biomasa total y 53.3 % de la densidad de las lombrices de tierra. El tamaño de esta especie varía

Cuadro 1. Distribución vertical de la densidad y biomasa de la macrofauna del suelo en la sabana de Huimanguillo, Tabasco, México.

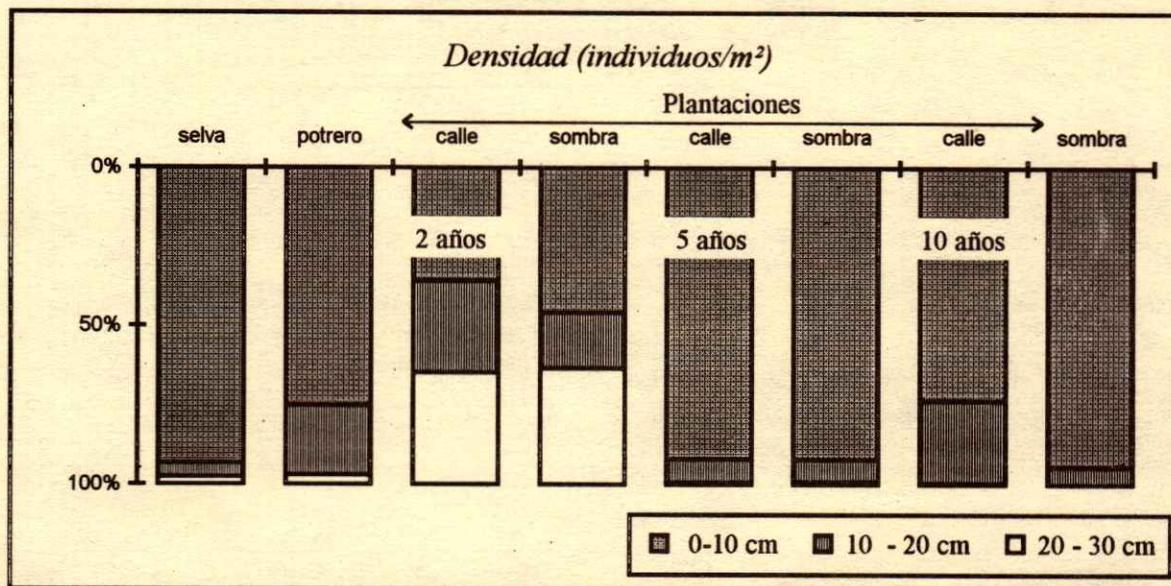
Sitios	Profundidad cm	Densidad	Biomasa
		núm. ind m <sup>-2</sup>	g m <sup>-2</sup>
Selva	0 - 10	817	11.2
	10 - 20	38	0.8
	20 - 30	22	8.6
Potrero	0 - 10	240	41.1
	10 - 20	70	12.2
	20 - 30	10	1.3
Calle, 2 años	0 - 10	725	13.0
	10 - 20	587	2.8
	20 - 30	709	2.4
Sombra, 2 años	0 - 10	741	41.0
	10 - 20	288	8.4
	20 - 30	592	2.0
Calle, 5 años	0 - 10	869	61.1
	10 - 20	75	3.2
	20 - 30	5	1.9
Sombra, 5 años	0 - 10	603	61.0
	10 - 20	48	2.2
	20 - 30	5	0.3
Calle, 10 años	0 - 10	928	0.8
	10 - 20	331	0.2
	20 - 30	5	0.1
Sombra, 10 años	0 - 10	181	18.6
	10 - 20	11	0.7
	20 - 30	0	0

de 7 a 10 cm de largo y 3 a 4 mm de diámetro, con un peso de 479 mg (en la selva) a 1170 mg (sombra dos años).

La repartición de las categorías ecológicas (Bouche, 1977; Lavelle 1981) sigue un gradiente ligado a su localización dentro del perfil del suelo, a la

**Cuadro 2.** Posición taxonómica y categoría ecológica de las lombrices de tierra presentes en los suelos de la sabana de Huimanguillo, Tabasco.

Familia	Genero	Especie	Categoría ecológica
Glossoscolecidae	<i>Pontoscolex</i>	<i>corethrus</i>	endógea polimesohúmica
Megascolecidae	<i>Dichogaster</i>	<i>saliens</i>	epígea polihúmica
Megascolecidae	<i>Dichogaster</i>	<i>sp3</i>	epígea polihúmica
Ocnerodrilidae	<i>Ocnerodrilus</i>	<i>occidentalis</i>	endógea polihúmica



**Figura 2.** Distribución vertical de la macrofauna del suelo de la sabana de Huimanguillo.

naturaleza y a la cantidad de alimento depositado en el suelo. La abundancia de los detritívoros (epígeos) aumenta progresivamente al pasar de la sabana a las plantaciones de dos y cinco años pero desaparecen en las plantaciones de 10 años.

Dos especies tienen mayor presencia en la superficie: *Dichogaster sp3* y *Dichogaster saliens*, excepto en los sitios: selva, calle y sombra de las plantaciones de 10 años. La endógea polimesohúmica *P. corethrus* domina todos los medios, y la endógea polihúmica *Ocnerodrilus occidentalis* se presenta solamente en la selva.

Con respecto a la distribución geográfica *P. corethrus* es una especie pantropical originaria de las planicies guyanenses. Se encuentra más comúnmente en zonas perturbadas, en los alrededores de las ciudades, en las praderas, en los suelos cultivados, las huertas y en las selvas secundarias. Raramente se presenta en medios con vegetación primaria. Su dispersión es hecha sobretodo por el hombre. Es una

especie con gran plasticidad ecológica (Lavelle *et al.*, 1987). En México ya fue encontrada precedentemente por Lavelle *et al.* (1981) y Frago (1985).

La densidad de individuos del sitio localizado en la selva de la sabana de Huimanguillo (877 m<sup>-2</sup>), fue muy similar al encontrado por Lavelle y Kohlmann (1984) en la selva secundaria de Bonampak, Chiapas (888 individuos m<sup>-2</sup>) y ligeramente inferior al encontrado por Lavelle *et al.* (1981) durante la época de lluvias en una selva de altitud (350 m), en la región de Laguna Verde, Veracruz (1118 m<sup>-2</sup>). En el mismo estudio Lavelle *et al.* (1981) encontraron un valor mucho más elevado (2411 m<sup>-2</sup>) en suelos de potrero de altitud (800 m), comparado con el valor encontrado (320 m<sup>-2</sup>) en el sitio de potrero de la zona de estudio (Cuadro 3). Este estudio faunístico pone en evidencia a *P. corethrus* como la especie de lombriz de tierra más dominante. La actividad global de la fauna del suelo parece estar orientada en gran parte hacia la acumulación y degradación de la materia húmica del suelo. La

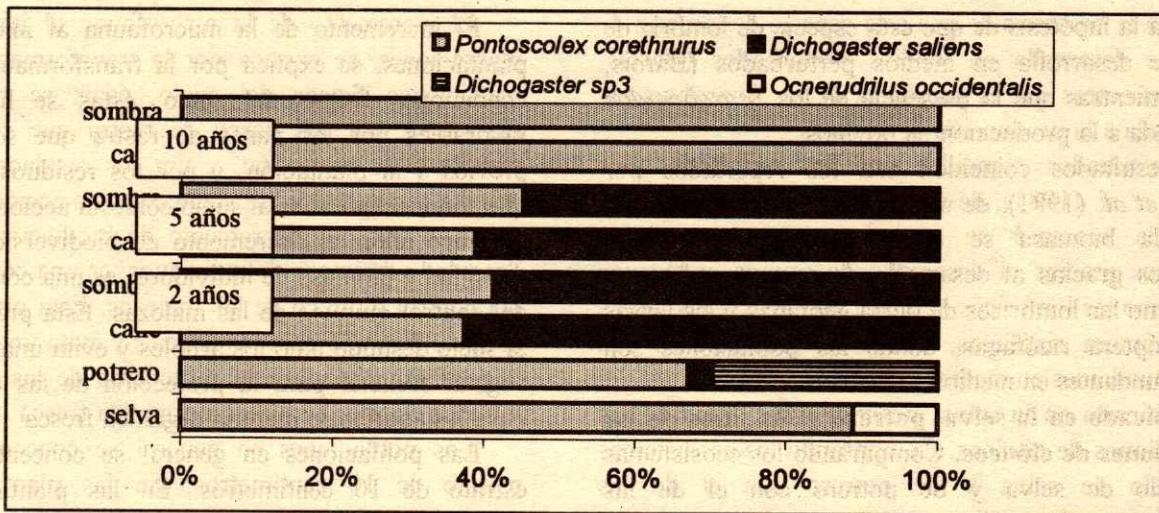


Figura 3. Poblaciones de lombrices de tierra en la sabana de Huimanguillo.

Cuadro 3. Comparación de la densidad de la macrofauna en la región tropical de México.

Región y sitio	Densidad	Concentración (0 a 10 cm)	Fuente
	ind m <sup>2</sup>	%	
Selva: sabana de Huimanguillo, Tabasco	877	93	Este trabajo
Potrero: sabana de Huimanguillo, Tabasco	320	75	Este trabajo
Selva: Bonampak, Chiapas	888	47	Lavelle y Kohlmann, 1984
Selva: Laguna verde, Veracruz (método de separación manual)	1118	52	Lavelle <i>et al.</i> , 1981
Potrero: Laguna verde, Veracruz (método separación manual)	2411	76	Lavelle <i>et al.</i> , 1981

ausencia de lombrices de tierra epigeas (*D. saliens* y *D. sp3*) en los sitios ubicados en la selva y en las plantaciones de 10 años de edad (calle y sombra), responde a una pobre acumulación de materia orgánica en la superficie. Por consiguiente, la presencia de endógeas (*P. corethrus*), dentro de la selva, es un indicador de que se trata de un sitio perturbado (selva secundaria) y no de un sitio inalterado como lo afirman los productores del lugar. Otra razón a la falta de materia orgánica es la ausencia o débil presencia de hormigas y termitas, esto se observa en el potrero y en las plantaciones de cinco y 10 años, sombra. La falta de materia orgánica en el potrero es el resultado de la utilización tradicional del fuego (incendiar los potreros cada año es una práctica generalizada en la región), en las plantaciones de cinco y 10 años, bajo los árboles (en la sombra), la disminución de la materia orgánica es debido al control químico de las malezas. La aplicación de herbicidas elimina la cobertura de materia orgánica fresca que al descomponerse

representa una fuente de alimento para la macrofauna que perezca con su falta.

### Comparación entre Sitios

**Sitio ubicado en la selva y el de potrero.** El ecosistema del suelo después de pasar de la selva al potrero se modifica considerablemente. La biodiversidad decreció ligeramente y la densidad de individuos descendió considerablemente, éstos pasaron de 877 a 320 m<sup>2</sup>, por el contrario la biomasa aumentó de 21,5 g m<sup>2</sup> a 55,5 g m<sup>2</sup>. Este aumento de biomasa resulta del desarrollo de *P. corethrus* que pasó de 80 a 122 m<sup>2</sup>, pero también de la aparición de *D. saliens* y de *D. sp3* que contribuyen con 21.3 % de la biomasa. La presencia de estas especies podría estar ligada a la materia orgánica más rica en nitrógeno proveniente de las gramíneas y de las heces de bovino. Las larvas de *Scarabaeidae* contribuyen con 25.4 % de la biomasa total. El aumento de *P. corethrus*

confirma la hipótesis de que esta especie de lombriz de tierra se desarrolla en medios perturbados (Barois, 1987), mientras que la presencia de los *Scarabaeidae* está ligada a la producción de bovinos.

Estos resultados coinciden con los reportados por Lavelle *et al.* (1981), de una zona tropical de México, donde la biomasa se incrementa en los medios herbáceos gracias al desarrollo de grupos endógenos tales como las lombrices de tierra geófagas y las larvas de coleóptera rizófagas, donde las poblaciones son poco abundantes en medios selváticos.

**Sitio ubicado en la selva, potrero y los sitios de las plantaciones de cítricos.** Comparando los ecosistemas del suelo de selva y de potrero con el de las plantaciones de cítricos, podemos constatar una degradación ecológica. Es necesario señalar que el ecosistema de las calles de las plantaciones evolucionan diferente a los de la sombra de los árboles. Dentro de las calles, la superficie está siempre cubierta por la hierba la que es cortada regularmente (siete veces por año), no existen raíces de los árboles, se presenta una costra endurecida de 2 a 3 cm de espesor y no existen signos de compactación (la densidad aparente es menor que en potrero; Ordaz, 1995). En la sombra de los árboles se presenta en la superficie del suelo una concentración de turrículos y una desaparición total de la capa vegetal provocada por las aplicaciones constantes de herbicidas que deja al suelo desnudo todo el tiempo.

#### Efectos del Cultivo de Cítricos en la Macrofauna

El estudio de la macrofauna del suelo reveló un incremento en la densidad y biomasa, así como en el número de especies en las plantaciones jóvenes (dos años), en particular en la sombra de los árboles, por el contrario en las plantaciones de 10 años se presentó una disminución. Los 877 individuos  $m^{-2}$  presentes en la selva y los 320  $m^{-2}$  en potrero, aumentaron a 1621  $m^{-2}$  en la sombra de los árboles de dos años. Este incremento resulta en parte por el aumento de la biodiversidad, donde *P. corethrurus* es siempre dominante. Después de cinco años, el desarrollo de la fauna se estabiliza con aumento de biomasa (debido a las lombrices), disminución de la biodiversidad y densidad. A los 10 años baja fuertemente la densidad de 1621  $m^{-2}$  presentes en dos años pasa a 192  $m^{-2}$  y la biomasa de 52.15 a 19.33  $g m^{-2}$ . De este total de biomasa 68 % corresponde a *P. corethrurus*.

El incremento de la macrofauna al inicio de las plantaciones, se explica por la transformación de las condiciones físicas del suelo, éstas se hacen más favorables por los pasos de rastra que se efectúan previos a la plantación, y por los residuos vegetales que son incorporados al suelo con esta acción. Después de cinco años, el decremento de biodiversidad, de la densidad y biomasa de individuos, es una consecuencia del control químico de las malezas. Esta práctica deja al suelo desnudo bajo los árboles y evita una cobertura vegetal esencial para la protección de las especies y para los aportes de materia orgánica fresca.

Las poblaciones en general se concentran en el estrato de 10 centímetros. En las plantaciones se presenta un desarrollo diferente de la macrofauna: en las calles es sensiblemente diferente a la que se presenta en la sombra.

#### CONCLUSIONES

El análisis de la macrofauna colectada en los ocho sitios de estudio de la sabana de Huimanguillo, reveló fuertes densidades en las plantaciones de dos años, tanto en las calles como en la sombra de los árboles, con valores de biomasa muy diferente entre ellos. El caso contrario se presentó en el potrero y en la plantación de 10 años sombra, donde la densidad fue de 320 y 192 individuos  $m^{-2}$  con valores de biomasa de 55.50 y 19.30  $g m^{-2}$ , respectivamente. La baja correlación que se obtuvo entre la densidad y la biomasa ( $r^2=0,023$ ) muestra que se trata de dos variables independientes.

La densidad de los individuos en las calles de las plantaciones de dos, cinco y 10 años es respectivamente de 2021, 949 y 1264  $m^{-2}$ . La biomasa fluctúa de 18.60 a 63.80, después baja a 48.57  $g m^{-2}$ . Los valores de la biomasa total oscilan alrededor de las cifras obtenidas en potrero. A medida que la biodiversidad decrece, la biomasa de *P. corethrurus* se incrementa; en las plantaciones de dos años participa con 34 % de la biomasa, en la de cinco años con 69 % y en la de 10 años con 90 %. Este comportamiento diferente de la macrofauna en las calles y en la sombra de las plantaciones se explica por la presencia de gramíneas y malezas. En las calles, la maleza es regularmente cortada y los residuos no son removidos, lo que propicia una aportación periódica de éstos.

Los datos obtenidos del estudio faunístico muestran que el cambio de uso del suelo provocó una

alteración del ecosistema que repercute en las poblaciones faunísticas.

En el inicio del uso agrícola, se presenta un incremento de la diversidad, la densidad y la biomasa de las poblaciones, en respuesta al desarrollo de la vegetación herbácea y al movimiento del suelo por la labranza. Con el tiempo, el ecosistema se va alterando, sobretodo en la sombra de los árboles donde se combaten químicamente las malezas, lo que provoca un ambiente carente de cobertera vegetal y de nuevas aportaciones de materia orgánica.

### LITERATURA CITADA

- Anderson J.M. y J. Ingram. (eds). 1989. Tropical soil Biology and Fertility Programme: methods handbook. C.A.B., Oxford.
- Barois, I. 1987. Travaux des chercheurs de la Station de Lamto (Côte d'Ivoire) No. 7; Programme MAB savanes. ISBN 2-7288-031-3. Université d'Abidjan.
- Berthelin, J. y F. Toutain. 1979. Chapitre VII Biologie du sol. Pédologie 2, constituants et propriétés du sol, par Bonneau M. et Souchier B. Masson, Paris.
- Bouche, M.B. 1977. Strategies lombriciennes. In: Lohm, U. and T. Person (eds). Soil organisms as components of ecosystems. Ecological Bulletin (Stockholm) 25: 122-132.
- FAO/UNESCO 1988. Soil map of the world. World soil resources report 60. Revised legend. Rome.
- Fragoso, C.E. 1985. Ecología general de las lombrices terrestres (*Oligochaeta-annelida*) de la región de boca del Chajul, selva lacandona (Chiapas). Tesis UNAM, México.
- Lavelle, P. 1981. Strategies de reproduction chez les vers de terre. Acta Oecol. (Oecol. Gener.) 2: 117-133.
- Lavelle, P., M.E. Maury y V. Serrano. 1981. Estudio cuantitativo de la fauna del suelo en la región de Laguna Verde, Veracruz, época de lluvias. Publicación No. 6: 75-106. Instituto de Ecología. México.
- Lavelle, P. y B. Kohlmann. 1984. Etude quantitative de la macrofaune du sols dans une forêt humide du Mexique (Bonampak, Chiapas). Pedobiología 27: 377-393.
- Lavelle, P., I. Barois, I. Cruz, C. Fragoso, A. Hernandez, A. Pineda y P. Rangel. 1987. Adaptive strategies of *Pontoscolex corethrurus* (Glossoscolecidae, Oligochaeta) a peregrin geophagous earthworm of the tropics. Biol. Fert. Soils 5: 188-194.
- Lavelle, P., A.V. Spain, E. Blanchart, A. Martin y S. Martin. 1992. Impact of soil fauna on the properties of soils in the humid tropics. In: Lal, Rand and P.A. Sánchez. Myths and Science of Soils of the Tropics. Special Publication 29. SSSA. Madison, Wisconsin, USA.
- Ordaz, Ch.V. 1995. Impact de la culture des agrumes sur le fonctionnement des sols dans une zone tropicale du Mexique (Etat de Tabasco). Sols No.20 Institut National Agronomique Paris Grignon, France.
- West R. C., N.P. Psuty y B.G. Thom. 1987. Las tierras bajas de Tabasco, en el sureste de México. Biblioteca básica. Gobierno del Estado de Tabasco.

# FERTILIZACION Y CLIMA EN LA PRODUCCION DEL MANGO 'MANILA' EN VERACRUZ

Fertilization and Climate for the Production of Mango 'Manila' in Veracruz, Mexico

R. León-Arteta y J.L. Pérez M.<sup>1</sup>

## RESUMEN

Aunque la diferenciación floral es muy importante para el manejo de muchos frutales por su efecto en la producción, existe desconocimiento de su respuesta al manejo de las variables ambientales. Para conocerla, se evaluaron los datos de la producción de cinco experimentos de fertilización, conducidos en el rancho "El Tepeyac", Rodríguez Tejada, municipio de Tierra Blanca, Ver., y en "La Bandera", municipio de Actopan, Ver., entre 1975 y 1978 por CONAFRUT. También se consideraron los datos de temperatura y precipitación de 1974 a 1977, de varias estaciones termopluviométricas cercanas, un trabajo de diferenciación floral y una regionalización de las áreas productoras del estado de Veracruz. Los resultados del análisis de varianza de los datos de cosecha y de regresión de todo el conjunto, permitieron concluir que hubo respuestas al nitrógeno, pero no son consistentes las de potasio y fósforo. Resultó indistinto analizar estadísticamente el número de frutos o peso de cosechas por árbol. El mejor tratamiento de fertilización en "El Tepeyac" fue de 2 kg por árbol de la fórmula comercial 18-9-18, una vez al año. El efecto del nitrógeno sobre la producción se observó más claramente en la segunda cosecha, después de la aplicación del fertilizante; el mejor tratamiento fue 600-400-600 g árbol<sup>-1</sup> de N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> y K<sub>2</sub>O, respectivamente. Las escasas precipitaciones de la segunda quincena de diciembre, tuvieron un resultado negativo en la producción de fruta. En la primera cosecha hubo respuesta positiva al magnesio con 3 kg de la fórmula comercial 15-10-15-5. También se observó la consecuencia positiva que tienen las escasas precipitaciones de las primeras semanas de diciembre. En el experimento de potasio, la temperatura media de la primera quincena de diciembre (22.06 °C) tuvo un efecto negativo y la de la segunda (21.43 °C) lo tuvo positivo. Se concluyó que las precipitaciones, las

temperaturas de las primeras y segundas quincenas de diciembre y las aplicaciones de nitrógeno al suelo, afectan la diferenciación floral y, por ende, la producción del mango cv. manila, en Veracruz.

*Palabras clave:* Precipitación, temperatura, nitrógeno, fósforo, potasio, magnesio.

## SUMMARY

Although floral differentiation is very important to the management of many fruit trees due to its effects on yield, not much is known about its response to the management of environmental variables. In this study, yield data from five fertilizer experiments conducted in "El Tepeyac" Ranch, Rodríguez Tejada municipality of Tierra Blanca Ver., and at La Bandera, municipality of Actopan Ver., between 1975 and 1978 by CONAFRUT (National Fructiculture Commission) were evaluated together with temperature and rainfall from 1974 to 1977 from several thermopluviometric stations, a report on floral differentiation and a regionalization study of the mango producer area of the State of Veracruz.

The results of the variance analysis of the yield data and the regression analysis of the whole set of data indicate a clear yield response to nitrogen applications but not so to potassium and phosphorus. It resulted indistinct to analyze yields with numbers of fruits or fruit weight per tree. The best fertilization treatment in El Tepeyac was 2 kg per tree of the commercial formula 18-9-18, once per year. The effect of nitrogen of yield was best observed on the second harvest after the applications of the formula 600-400-600 g of N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> and K<sub>2</sub>O per plant. The scarce rainfall during the last two weeks of December had a negative effect on yield. The first harvest showed a positive effect of magnesium with 3 kg of the formula 15-10-5-5 and the scarce rainfall during the first two weeks of December had a positive effect. In the potassium experiment mean temperature (22.06 °C) showed a negative effect in the first two weeks of

Mártires del 28 de Agosto # 210, 91020 Xalapa, Veracruz.  
Aceptado: Junio de 1996.

December and a positive effect during the last two weeks (21.43 °C). It was concluded that rainfall, temperatures during the first and second fortnights of December and nitrogen fertilizer dressings affect floral differentiation and therefore the yield of the manila mango in Veracruz.

*Index words:* Rainfall, temperature, nitrogen, phosphorus, potassium, magnesium.

## INTRODUCCION

Entre los factores limitativos para la producción de mango reportados en la literatura tenemos: balance nutricional, relación C/N, balance hídrico, horas frío, etc. En el estado de Veracruz sobresalen los vientos denominados regionalmente "nortes", que provocan gran caída de flor y frutos, en ocasiones quebraduras de ramas, y que favorecen la presencia de enfermedades como antracnosis (*Colletotrichum gloeosporoides*) y cenicilla (*Oidium mangiferae* Berthet). Se ha recomendado aplicar en el transplante 150 g de sulfato de amonio más 150 g de superfosfato de calcio simple; para árboles en crecimiento, de 2 a 6 años, 200 a 400 g de 17-17-17 más de 140 a 300 g de urea, pero no se menciona nada sobre los árboles en producción. El nitrógeno aplicado en forma de sulfato de amonio favorece la floración, sobre todo si se mezcla con fósforo y potasio. Aunque son comunes las respuestas de las especies arbóreas cultivadas a la aplicación de nitrógeno y potasio, no ocurre así con la de fósforo, esto último se señala ocasionalmente en el caso de cítricos, durazno y nuez pecanera. Otro factor que puede afectar de manera importante la respuesta del mango a la fertilización, es la presencia de la micorriza, la cual se observó en diez agroecosistemas elegidos al azar en el estado de Veracruz (Cortés *et al.*, 1984).

La baja humedad ambiental, las altas temperaturas y la luz solar brillante, reducen la germinación del polen (Spencer y Kennard, 1955). Para Singh (1965), la temperatura media mínima debe ser de 15 a 16 °C, la óptima de 24 a 27 °C, y sugiere que se necesitan tres meses con temperatura media de 15 °C y días cortos de menos de 8 h luz para inducir la brotación floral. El abatimiento del porcentaje de tres flores perfectas puede contrarrestarse aplicando 200 mg kg<sup>-1</sup> de ácido naftalenacético durante el desarrollo de la panícula (Singh, 1965).

Aunque existe abundante bibliografía, generada en varias partes del mundo (Chandler, 1962; Singh, 1965, 1977), sobre las necesidades de una época seca y otros factores ambientales y de manejo para inducir la diferenciación floral y la floración en mango, no hay trabajos de observaciones similares en México.

Por otra parte, respecto a la fisiología de los árboles de mango, Chandler (1962) señala que un brote vegetativo necesita como mínimo seis meses para florecer, pero se han observado floraciones en brotes de 3 a 5 meses. El número de brotes vegetativos de enero a junio corresponden a igual número de floraciones del siguiente año. La diferenciación floral es variable de año con año; en Veracruz se tienen cuando menos dos épocas de brotación vegetativa, una en agosto y otra de octubre a febrero. En el caso específico de la parte central del estado de Veracruz, Covarrubias y Yáñez (1977) reportan que en 1977 la diferenciación floral en mango manila, en Tolome, ocurrió en 25% en la segunda quincena de noviembre y en 75% antes del 12 de diciembre; la emergencia de las panículas se presentó en enero. La inducción floral, además del anillado y el tratamiento con humo, hormonas o nitrato de potasio, favorecen la producción temprana de frutos lo que permite al productor obtener precios considerablemente superiores a los de la cosecha normal (Covarrubias, y Yáñez, 1977; Singh, 1965). En Veracruz se recomienda la aplicación foliar en enero de 1 a 4% de nitrato de potasio (Covarrubias, 1982) y según Aguilar *et al.*, (1986) debe ser de 2% entre la última semana de octubre y la tercera de noviembre.

En función de todo esto se consideró necesario conocer como afectan la temperatura, la precipitación y los fertilizantes comerciales la producción del mango manila, en el centro del estado de Veracruz.

## MATERIALES Y METODOS

Por su alta producción de mango, se escogieron los municipios de Actopan y Tierra Blanca para establecer los experimentos. En Actopan, el sitio experimental se ubicó en la localidad de La Bandera, en la desviación a El Diamante de la carretera La Bocana-Actopan; y en Tierra Blanca, en el rancho El Tepeyac, cerca de Rodríguez Tejeda, entre Tierra Blanca y la Tinaja, ambos en el centro del estado de Veracruz. En ambos sitios predominan los Vertisoles pélicos, con pendientes

menores a 4%, abundante carbonato de calcio en el Tepeyac y pedregosos en La Bandera (Cuadro 1).

El trabajo de diferenciación floral de Covarrubias y Yáñez (1977), realizado en Tolome, se aprovechó para ayudar a explicar los efectos de la temperatura y la precipitación antes y después de la diferenciación floral; ya que Tolome se localiza casi equidistante a los sitios experimentales (Figura 1). También se utilizó el estudio agroclimático del mango en Veracruz (León-Arteta, 1984), que regionaliza las áreas productoras en función de la cantidad y distribución de la precipitación, insolación y horas frío (García *et al.*, 1974; León y Palacios, 1982; Nieto, 1978), el cual nos permitió jerarquizar seis regiones.

Se carece de mayores datos de manejo de los experimentos, tampoco existió un diseño de tratamientos, por lo que los resultados de cinco de ellos, cosechados entre 1975 y 1978 se analizaron en conjunto. Los experimentos considerados (Cuadro 1) fueron: (1) niveles de nitrógeno. (2) fórmulas comerciales de fertilización. (3) número de aplicaciones. (4) dosis, todos éstos en El Tepeyac. (5) niveles de potasio en La Bandera. Los nutrimentos se expresan en forma comercial; es decir, el nitrógeno en forma elemental, el fósforo como  $P_2O_5$  y el potasio como  $K_2O$ . El diseño experimental fue de bloques al azar, con cuatro repeticiones y un árbol como parcela útil.

Las variables consideradas fueron: número y peso de frutos por árbol, de cuatro cosechas en árboles de más de 15 años de edad, es decir, en plena madurez. Para el análisis de los datos se procedió de la siguiente manera:

1. Cálculo de temperaturas medias y precipitaciones acumulativas quincenales, normalizadas logarítmicamente, de estaciones cercanas a los sitios experimentales de 1974 a 1978, período que abarca los años de los experimentos.

2. Análisis de varianza y regresión de cada experimento, en un diseño de parcelas divididas en el tiempo (cosechas o parcelas grandes), mientras las parcelas chicas son los tratamientos, ya que es el diseño que mejor se adaptó para el análisis de los datos rescatados. Este diseño tiene diferencias substanciales con las conocidas parcelas divididas en el espacio (Steel y Torrie, 1960) y cuyas características se citan en el trabajo de Pérez y León-Arteta (1989).

Los datos de cosechas se transformaron, obteniendo su raíz cuadrada, con objeto de eliminar la evidencia de la

relación entre media y la varianza. El análisis de la regresión se realizó con número de frutos y peso de las cosechas de cada experimento de fertilización en función de los datos anuales de cosecha, los tratamientos de fertilización de cada uno de los cinco experimentos, temperatura media y precipitación acumulada de las dos quincenas de noviembre y diciembre de 1974 a 1978, así como de sus interacciones.

El análisis de regresión fue por pasos hacia adelante e inmediatamente con pasos para atrás, se obtuvieron 35 familias de ecuaciones y se seleccionaron, al final, cuatro de ellas (BMDP, 1987; Méndez, 1980).

3. Análisis e interpretación de los resultados en función de los elementos climáticos y del trabajo de diferenciación floral de Covarrubias y Yáñez hecho en Tolome, Ver. en 1977.

## RESULTADOS Y DISCUSION

### Análisis Climático

Los municipios de Actopan y Tierra Blanca, donde estuvieron establecidos los sitios experimentales, se ubicaron en tercer y cuarto lugar, respectivamente, en la regionalización de las seis zonas productivas de mango en el estado de Veracruz (León-Arteta, 1984), de donde se concluye que entre estas dos regiones existen diferencias mínimas en cuanto a distribución de la precipitación y temperatura, por lo que los datos se pueden generalizar para las dos localidades del estudio.

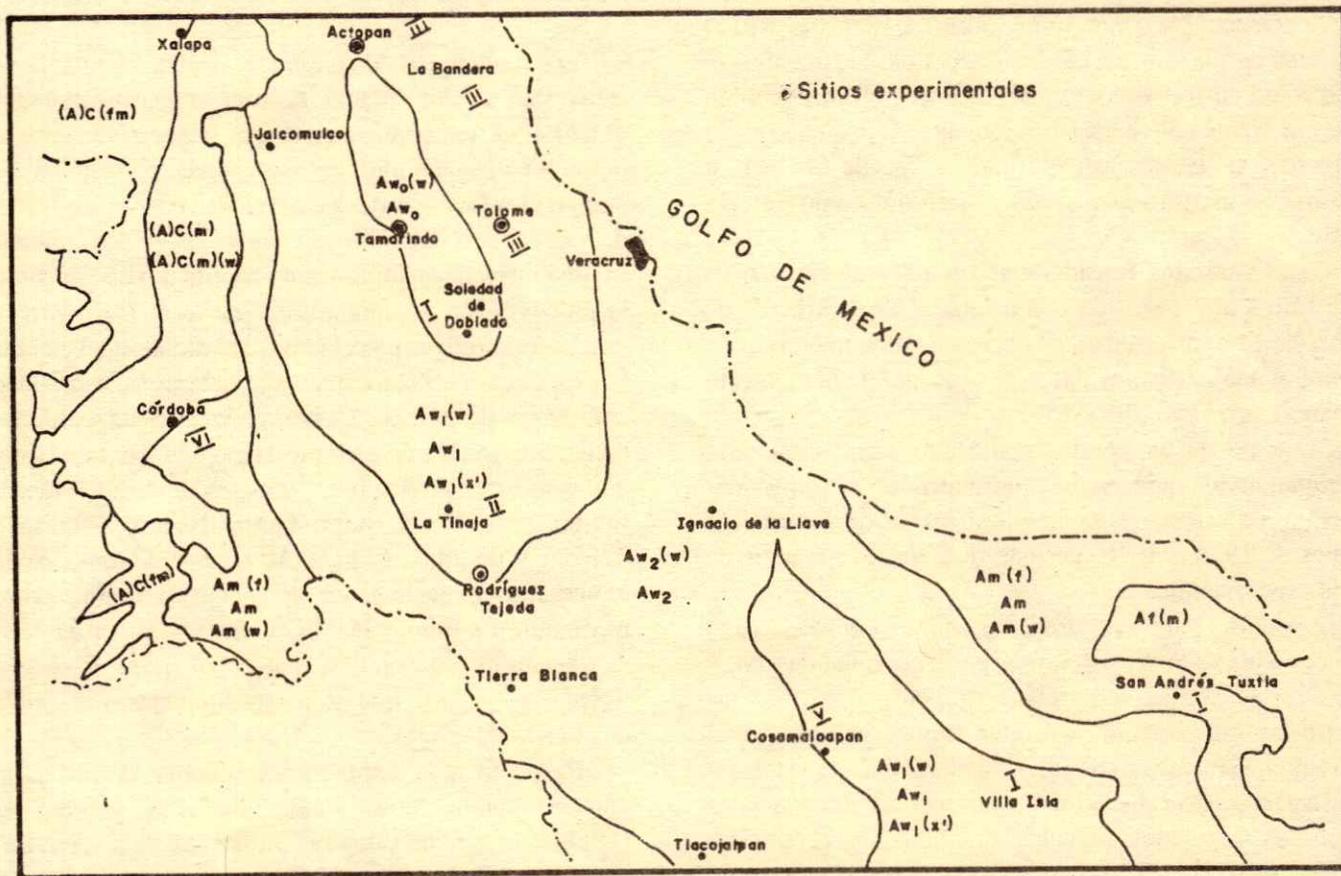
En el caso específico de la temperatura, ésta tiende a abatirse de 2 a 3 °C por cada mes de octubre a diciembre. Así, por ejemplo, en 1977 en la primera quincena de noviembre, las temperaturas medias fueron de 23.5 °C para Tierra Blanca (Rodríguez Tejeda) y de 24.9 °C para Actopan y Tolome. Si las temperaturas medias de la segunda quincena de noviembre fueron de 25.1 °C y en la primera quincena de diciembre de 23.3 °C en 1977 para Rodríguez Tejeda, se supone que el comportamiento fue similar en el resto de la región.

Respecto a la temperatura mínima media en los años estudiados, nunca alcanzó los 15 °C según Singh (1968). Así, en las primeras quincenas de noviembre y diciembre fueron de 17.8 +/- 0.90 y 16.9 °C, respectivamente, en Rodríguez Tejeda. Por lo asentado en este párrafo y en el anterior, puede considerarse a Tolome y Tamarindo como sitios representativos del

**Cuadro 1. Experimentos establecidos en las regiones de Tierra Blanca y Actopan, Ver. Covarrubias A. R. (Comunicación personal).**

Tratamiento	1. Niveles de nitrógeno			2. Fórmulas de fertilización	3. Variación de aplicaciones/año	
	N	P	K		Dosis	Aplicaciones/año
T 1	0	400	600	15 - 30 - 15	15 - 10 - 15 - 5	2
T 2	300	400	600	15 - 10 - 15 - 5	15 - 10 - 15 - 5	3
T 3	600	400	600	17 - 17 - 17	15 - 10 - 15 - 5	4
T 4	900	400	600	18 - 8 - 4	18 - 9 - 18	2
T 5	1200	400	600	18 - 9 - 18		
T 6	Testigo			Testigo	18 - 9 - 18	3
T 7	Testigo			Testigo	Testigo	4

Tratamiento	4. Dosis	kg aplicados	5. Niveles de potasio
	T 1	15 - 10 - 15 - 5	2
T 2	15 - 10 - 15 - 5	3	12 - 8 - 16
T 3	15 - 10 - 15 - 5	4	12 - 8 - 12 + KCl
T 4	18 - 9 - 18	2	12 - 8 - 8
T 5			12 - 8 - 4 (fórmula comercial)
T 6	18 - 9 - 18	3	12 - 8 - 0
T 7	Testigo	4	Testigo



**Figura 1. Tipos de clima de las regiones mangueras del estado de Veracruz según Köppen-García (INEGI). Jerarquización por meses húmedos y horas frío de mayor a menor potencial productivo I II III IV V.**

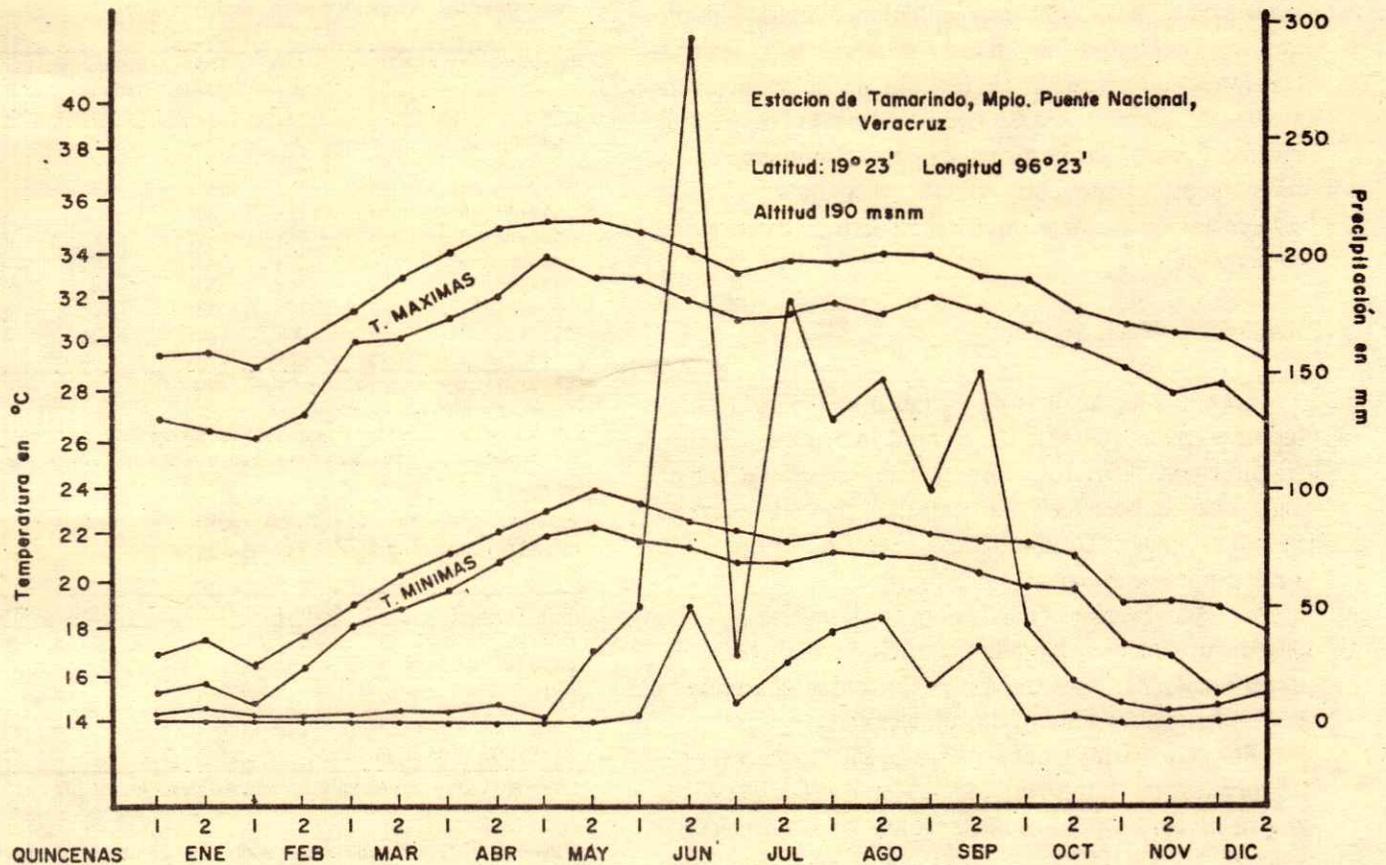


Figura 2. Curva ombrotérmica con intervalos de confianza, datos quincenales de precipitación y temperatura.

área geográfica experimental en este caso específico; Tolome fue el lugar donde se realizó el estudio de diferenciación floral y Tamarindo un lugar cercano al de un experimento de riego (Ramírez, 1983), ambos localizados en el centro de la región estudiada.

Por lo que hace a la influencia del fotoperíodo, utilizando los días cortos con menos de 8 horas luz, sólo se tiene información para Córdoba y Veracruz, las estaciones meteorológicas más cercanas. Así, se observa que en Córdoba, los meses con menos insolación son abril y mayo en 69 y 74 unidades, mientras que de septiembre a febrero tenemos 90, 99, 92 y 91, respectivamente (Nieto, 1978). En Veracruz, Ver., los meses con menos insolación son diciembre y enero con 149 y 150 unidades, respectivamente; de septiembre a noviembre son 162, 186 y 158 unidades. Aunque Córdoba no es una región productora, su información puede servir para inferir el comportamiento de esta variable en la región productora, utilizando una variable más accesible.

El único indicador de la insolación que se toma en las estaciones termopluviométricas que son más comunes en la región, es la simbología de días con sol o días medios nublados, y días nublados. Con este último dato, se estableció que los meses más nublados en Tamarindo, Ver., son junio, julio, septiembre y octubre con 14.4, 13.9, 13.2 y 11.2 días, respectivamente (Figura 2). Lo que permite suponer una contradicción aparente con lo asentado por Singh (1965), sobre su influencia en la diferenciación floral.

Se puede considerar que la precipitación acumulada estuvo hasta el mes de octubre, en equilibrio con la evapotranspiración, que a su vez, es una función de la temperatura media (Ramírez, 1983). En Tamarindo, la temperatura media anual fue de 25 °C; las tres variables mencionadas se abaten a partir de octubre, aunque no en la misma proporción. Así, las precipitaciones acumuladas en los años de los experimentos, en la primera quincena de diciembre fluctuaron de 43.7 a 2.6 mm y en la segunda del

mismo mes de 29.5 a 0.0 mm. En ambos casos fueron insuficientes para mantener el balance hídrico, dado que las precipitaciones fueron menores a la evapotranspiración, estimada en función de la temperatura media. Pudiera pensarse que el efecto del estrés hídrico, junto con otros factores ambientales y fisiológicos, tiene un efecto disparador en la diferenciación floral y puede ser contraproducentes si se perpetúa.

### Análisis de Varianza

En todos los análisis de varianza se rechazaron las hipótesis nulas (Cuadro 2), lo cual indica que algunos tratamientos difirieron entre sí, tal como se indica enseguida: hubo diferencias entre las parcelas grandes (años) y chicas (tratamientos), pero la información entre ambos no fue constante.

La interacción año por tratamiento afectó significativamente el rendimiento de la cosecha en el experimento de comparación de fórmulas comerciales de fertilización y número de aplicaciones.

Por otra parte, en el Cuadro 3, en el experimento de niveles de nitrógeno, se observó claramente el mayor número y peso total de frutos, de la cosecha del segundo año (1976) en comparación con los otros años, así como la superioridad el tratamiento 600-400-600 (Cuadro 4).

En el experimento de fórmulas comerciales de fertilización (Cuadro 5) se observan diferencias estadísticas entre algunos tratamientos en los tres primeros años, pero éstas son más evidentes en el segundo. Ese año, el mejor tratamiento resultó ser la fórmula 15-30-15, pero el 17-17-17 lo fue en los años 1 y 3.

Los árboles tratados con fórmulas con niveles más altos de potasio, como la 18-9-18 conservaron, en promedio, mayor número de frutos en el período observado. Dicho tratamiento también tuvo el mejor rendimiento de todos los experimentos: 301.36 kg árbol<sup>-1</sup> que corresponde a 15.6 t ha<sup>-1</sup>. El tratamiento 15-30-15 resultó, en general, estadísticamente igual al tratamiento 18-9-18, en todos los años (Cuadro 6), lo cual permite poner en duda la posibilidad de una respuesta al fósforo.

En el Cuadro 7 se observa una mejor definición de diferencias con cuatro aplicaciones de la fórmula 18-9-18 en la segunda cosecha, lo cual permite

**Cuadro 2. Comparación de análisis de varianza de los cinco experimentos. Número y peso total de frutos.**

Experimento	ANDEVA	Año cosecha	Tratamiento	Interacción año por tratamiento	Interacción año por bloque
1. Niveles de nitrógeno	1	XX	XX	NS	NS
	2	XX	XX	NS	NS
2. Fórmulas de fertilización	3	XX	XX	X	NS
	4	XX	XX	XX	NS
3. Número de aplicaciones	5	XX	XX	X	NS
	6	XX	XX	X	NS
4. Dosis de aplicación	7	XX	XX	X	NS
	8	XX	XX	XX	NS
5. Niveles de potasio	9	XX	NS	NS	NS
	10	XX	NS	NS	NS

XX Existen diferencias altamente significativas.

X Existen diferencias significativas.

NS No existen diferencias significativas. Los análisis de varianza noes corresponden a peso de cosecha y los pares a número de frutos por árbol

**Cuadro 3. Pruebas de comparación de medias de Tukey (DMSH) con  $q = 0.01$  del Experimento 1.**

Parcela grande	Número de frutos	Peso de frutos
1976	27.67 a	13.13 a
1975	15.94 b	7.76 b
1977	14.25 b	6.83 b
1978	12.98 b	6.24 b

DMSH (0.01) = 4.75

La misma letra indica valores estadísticamente iguales.

**Cuadro 4. Prueba de comparación de medias de Tukey (DMSH), con  $q = 0.01$  para tratamientos del experimento niveles de nitrógeno.**

Niveles de nitrógeno	Número de frutos	Peso de frutos
600 - 400 - 600	20.57 a	9.82 a
300 - 400 - 600	18.64 ab	8.90 ab
1200 - 400 - 600	18.03 ab	8.64 ab
900 - 400 - 600	17.10 ab	8.26 ab
0 - 400 - 600	16.95 ab	8.21 ab
Testigo	14.96 b	7.15 b

DMSH (0.01) = 4.75

La misma letra indica valores estadísticamente iguales.

considerar la posibilidad de respuesta a mayores niveles de nitrógeno y potasio que de fósforo.

En el experimento aludido en el Cuadro 8, se observó que, como en casi todos los experimentos, la respuesta fue más notoria en el segundo año. Así, la dosis más baja (2 kg) de la fórmula 18-9-18 fue numéricamente la mejor, aunque estadísticamente fue similar al testigo y diferente a la dosis intermedia (3 kg) en el segundo año. Aquí se confirmó (Cuadro 9) que el mejor año para detectar las diferencias de

Cuadro 5. Comparación de años y fórmulas de fertilización en función de número de frutos por árbol (transformados).

Año	Tratamiento					Testigo
	15 - 30 - 15	15 - 10 - 15 - 5	17 - 17 - 17	18 - 8 - 4	18 - 9 - 18	
1976	33.46 a	30.67 a	23.66 a	29.38 a	32.11 a	14.05 a
1978	20.46 a	18.31 a	20.13 a	18.48 b	19.10 b	13.31 a
1975	14.97 bc	17.57 b	22.28 a	16.20 b	19.99 b	12.58 a
1977	10.44 c	12.96 b	17.39 a	13.26 b	12.54 b	6.81 a

DMSH (0.05) = 8.91

La misma letra indica valores estadísticamente iguales.

Cuadro 6. Comparación de fórmulas de fertilización por año en función del peso de frutos (transformados).

Año	Tratamiento					Testigo
	15 - 30 - 15	15 - 10 - 15 - 5	17 - 17 - 17	18 - 8 - 4	18 - 9 - 18	
1976	15.83 a	14.65 a	11.64 a	13.96 a	15.37 a	6.74 a
1978	9.82 b	8.86 b	9.73 a	8.92 b	9.23 b	6.45 a
1975	7.33 b	8.48 b	10.62 a	7.85 b	9.63 b	6.04 a
1977	4.99 b	6.14 b	8.36 a	6.21 b	5.93 b	3.22 a

DMSH (0.05) = 4.88

La misma letra indica valores estadísticamente iguales.

Cuadro 7. Comparación de número de aplicaciones de dos fórmulas y su efecto en las cosechas en función del número de frutos en El Tepeyac (transformados).

Fórmulas aplic.	15 - 10 - 15 - 5			18 - 9 - 18			Testigo
	2	3	4	2	3	4	
Año							
1976	22.48 a	20.81 a	21.35 a	24.67 a	26.15 a	32.52 a	13.65 a
1977	14.30 a	15.31 ab	13.25 ab	16.23 ab	15.33 b	13.41	9.98 a
1978	14.34 a	14.40 ab	11.53 b	13.92 b	15.17 b	14.14 b	11.66 a
1975	13.05 a	11.04 b	14.62 ab	12.39 b	16.02 b	14.23 b	12.37 a

DMSH (0.05) = 8.91

La misma letra indica valores estadísticamente iguales.

Cuadro 8. Respuesta en número de frutos por árbol a tres dosis de fertilizantes comerciales en las cuatro cosechas (transformados).

Fórmulas kg	15 - 10 - 15 - 5			18 - 9 - 18			Testigo
	2	3	4	2	3	4	
Año							
1976	29.42 a	31.93 a	30.61 a	36.91 a	27.14 a	30.37 a	29.08 a
1977	15.99 b	17.12 b	12.39 b	18.63 b	17.82 ab	16.35 b	15.92 b
1978	14.97 b	21.26 b	18.55 b	16.25 b	18.58 ab	16.18 b	10.08 b
1975	14.92 b	13.65 b	14.41 b	12.47 b	14.92 b	14.40 b	8.27 b

DMSH (0.05) = 10.57

La misma letra indica valores estadísticamente iguales.

respuesta a las dosis aplicadas fue el segundo y el mejor tratamiento el de 2 kg de la fórmula 18-9-18, aunque en esta comparación los tratamientos son estadísticamente iguales dentro de cada año.

Para las variables peso de frutos en el primer año, los mejores tratamientos fueron los de 3 y 4 kg de la fórmula 15-10-15-5, y 3 kg de la fórmula 18-9-18 al

año, y el resto, incluyendo el testigo, fueron intermedios.

En los análisis de varianza 9 y 10 (Cuadro 2), únicamente se rechazan las hipótesis nulas sobre igualdad de efectos entre años. Aunque no se detectó efecto de los tratamientos en el experimento de potasio, es claro que hay un decremento en la producción en

**Cuadro 9. Respuesta en peso de cosecha por árbol, a tres dosis de dos fórmulas de fertilizantes comerciales (transformados).**

Fórmulas kg	15 - 10 - 15 - 5			18 - 9 - 18			Testigo
	2	3	4	2	3	4	
Años							
1976	13.75 a	15.26 a	14.54 a	17.36 a	12.92 a	14.35 a	13.71 a
1978	7.73 b	8.30 b	6.00 b	8.80 b	8.58 ab	7.96 b	7.93 b
1977	7.19 b	6.58 b	6.96 b	6.02 b	7.25 b	6.88 b	3.99 b
1975	7.05 b	10.04 ab	8.88 b	7.80 b	9.00 ab	7.78 b	4.82 b

DMSH (0.05) = 5.33

La misma letra indica valores estadísticamente iguales.

forma paulatina a partir de la primera cosecha y ésta es significativa estadísticamente.

La prueba de Tukey (Cuadro 10), para comparar las medias de cada factor muestran el mismo resultado en las variables número y peso de frutos. Esto se debe a una alta correlación entre ambas variables y se concluye que es suficiente hacer el análisis de los datos correspondientes a una sola variable por cada experimento.

Los resultados obtenidos para cada experimento en ambas variables, peso y número de frutos por árbol se presentan a continuación.

**Niveles de nitrógeno.** Existen diferencias significativas entre los niveles de parcelas grandes (Cosecha anual o año), en donde el más alto rendimiento se obtuvo en el segundo año.

Asimismo para niveles de parcelas chicas (tratamientos), el tratamiento 600-400-600 provocó el mayor rendimiento, aún cuando estadísticamente es igual a los demás, numéricamente resulta mejor que el testigo (Cuadro 4). De acuerdo con los análisis de varianza para los siguientes tres experimentos, se efectuó la comparación en medias debido a que es significativa la interacción de años por tratamiento: primero se compararon las de cada tratamiento a un año específico, en segundo lugar se compararon las de cada año a un mismo nivel de tratamiento. Al efectuar la comparación se puede generalizar que en dichos experimentos, las medias de tratamientos son iguales tanto en el año 1 como en el año 4, siendo diferentes los efectos al año 2 y al año 3.

**Fórmula de fertilización.** resultó significativa la diferencia. Teniendo como mejor el tratamiento 1(15-30-15) dentro del año 2, así como el tratamiento 3(17-17-17) en el año 3 (Cuadros 5 y 6).

**Variando el número de aplicaciones.** el mejor tratamiento fue (el 6) 4 aplicaciones de la fórmula 18-9-18 en el año 2, sin ser significativas las diferencias en el año 3 (Cuadro 7).

**Cuadro 10. Comparación de cosechas medias anuales en el experimento de niveles de potasio en la Bandera (Actopan) (transformados).**

Año	Número de frutos	Peso de frutos
1975	25.06 a	11.93 a
1977	21.69 ab	10.88 ab
1976	15.88 bc	7.87 bc
1978	15.82 c	7.71 c
	DMSH (0.01) = 6.49	DMSH (0.01) = 3.11

**Fertilización a diferentes dosis.** el mejor tratamiento resultó ser (el 4) 2 kg de la fórmula 18-9-18 en el año 2, sin diferencias significativas hacia el año 3, (Cuadro 8).

**Niveles de potasio.** únicamente se encontraron diferencias estadísticas significativas al comparar los años, teniéndose un alto rendimiento hacia el primer año así como al tercer año. Esto coincide con el fenómeno de la alternancia anual de la producción del mango manila, del mismo modo podría explicarse que entre los tratamientos no hubo diferencias significativas, debido quizá a la dificultad de detectar el efecto de los niveles de potasio, mediante las variables que se midieron en este experimento.

### Modelos de Predicción

En función de los experimentos de fertilización, sobresalen las siguientes familias de ecuaciones.

Experimento de niveles de nitrógeno.  $YS1 = 15.4223 + 3.4376 X3 + 15.6089 X7 - 2.6474 X31$ . Con  $r$  ajustada = 0.6420. donde  $YS1$  es el número de frutos por árbol en todas las cosechas y la significación de las variables aceptadas es:

	Tolerancia	F removida	Coef. error estándar
X3 = Tratamiento 600-400-600	1.00	9.91	1.0919
X7 = Cosecha del año 2 (1976)	0.51	143.11	1.3048
X31 = Precipitación de la segunda quincena de diciembre	0.51	6.58	1.0318

Esta ecuación incluye a una familia de respuestas para la cosecha de los cuatro años, y nos dice que en el experimento con niveles de nitrógeno el número de frutos, además del valor de la constante de la ecuación, fue incrementado por el tratamiento 600-400-600 y el año que tuvo mayor contribución fue la cosecha de 1976, pero las precipitaciones de la segunda quincena de diciembre de 1974 a 1977 tuvieron un efecto negativo. Si en las especies perennes arbóreas, los efectos del manejo generalmente se observan hasta el año siguiente después de haberse efectuado, como es el caso de la fertilización, dado que se considera que hay un almacenamiento de reservas que se utilizarán en la siguiente cosecha. Como se observa en la ecuación anterior y se corrobora en este trabajo.

Cabe aclarar que el mes de noviembre, fue el primero con balance hídrico negativo después de la temporada de lluvias, cuya precipitación normalmente es menor a 15 mm. Aunque existen discrepancias con lo asentado por otros autores, ya que la lluvia promedio para Nieto (1978) es de 62 mm, para García *et al.*, (1974) utilizando la distribución de gamma, es de 53.33 mm con un coeficiente de variación de 139.29%, y este último puede ayudarnos a entender la discrepancia. Así la lluvia con una probabilidad del 50% es de 22 mm, es decir que uno de cada dos años se tiene la probabilidad de que el suelo esté abajo de la capacidad de campo. Dicho déficit hídrico puede interaccionar con el abatimiento de las temperaturas, desde cuando menos 27 °C de los siete meses anteriores a menos de 25.08 °C. Pero solamente se manifestó el efecto negativo del déficit hídrico, hasta la segunda quincena de diciembre.

**Experimento de dosis de fertilización.**  $YS7 = 10.0759 + 14.7658 X8 + 5.8401 X34 + 5.0984 X13 + 6.6234 X20 - 3.1410 X23$ . Donde  $r$  ajustada = 0.6794 y  $YS$  = Número de frutos por árbol, en todas las cosechas. Y la significación estadística de las variables aceptadas: Para el número de frutos de las cuatro cosechas, la aportación más grande estuvo dada por la de 1976. Se observaron efectos positivos de la interacción de 3 kg de la fórmula 15-10-15-5 en la cosecha de 1975 quizá causado por el magnesio en esta primera cosecha,

	Tolerancia	F remoción	Coef. error estándar
X8 = Cosecha del año 2 (1976)			
X34 = Precipitaciones acumuladas de la primera quincena de diciembre.	0.86	800	2.34
X13 = Interacción de 3 kg de 15-10-15-5 con la cosecha de 1er. año (1975)	0.70	166.37	1.11
X20 = Interacción de 2 kg de 18-9-18 con la cosecha del 2 año (1976)	0.88	7.25	2.16
X23 = Interacción de 3 kg de 18-9-18 con la cosecha del 2 año (1976)	0.95	5.24	2.22

mismo cuya deficiencia está relacionada con la alternancia (Del Rivero, 1968). Mención aparte tienen la interacción de 2 kg de la fórmula 18-9-18 y la cosecha de 1976. Pero hubo un resultado negativo por la interacción de 3 kg de 18-9-18 en la segunda cosecha, que podría deberse a los posibles excesos de nitrógeno o potasio. Dichos excesos pueden observarse al compararlo con la variable X13 del mismo modelo. Con excepción de 1976, las precipitaciones de la primera quincena de diciembre (con 43.7 mm), son menores que en las segundas quincenas (Figura 2). En el experimento de nitrógeno, las precipitaciones deficitarias de la segunda quincena tuvieron una consecuencia negativa. Por otra parte, en este experimento de dosis de fertilización, las precipitaciones deficitarias de la primera quincena tuvieron un efecto positivo.

**Peso total de frutos.** El experimento de dosis de fertilización, fue el único donde hubo diferenciación entre número y peso total de frutos y se observó la siguiente ecuación para el peso total de frutos.

$YS = 7.6158 + 6.4727 X8 - 1.2050 X9 + 2.4208 X13 + 3.2745 X20 + 1.3889 X22$ . Con  $r$  ajustada = 0.6838. Donde:  $YS8$  = peso total de frutos por árbol de todas las cosechas. Las variables X8, X13 y X20 son iguales a las de la ecuación anterior. Donde: F = 173.38, 6.64, 5.60, 9.51 y 1.84, respectivamente; tolerancia de 0.76, 0.84, 0.95, 0.88 y 0.95, respectivamente; y el coeficiente del error estándar de 0.4916, 0.4676, 1.0233, 1.0619 y 1.0233, respectivamente.

X22 = Interacción 3 kg de 18-9-18 por la cosecha del 1er año (1975). X9 = Cosecha del tercer año.

La influencia de las variables en el peso de frutos por árbol más relevante fue: Cosecha del segundo año, interacción 3 kg de la fórmula 15-10-15-5 con la cosecha de 1975, donde se puede inferir un posible efecto positivo del magnesio en el número de frutos por árbol desde la primera cosecha como se observó en el análisis en función del número de frutas. Y la interacción de 2 kg de la fórmula 18-9-18 con la cosecha de 1976, tuvieron el mismo efecto positivo que en número de frutos del mismo experimento. Otra variable que también influyó en el peso de la cosecha por árbol fue la interacción de 3 kg de la fórmula 18-9-18 con la cosecha de 1975.

La variable con efecto negativo más relevante fue la cosecha de 1977 (X9), debido quizá al efecto de alternancia (Singh, 1965). Dado que la alternancia o vecería como se le llama en España, es uno de los factores que limita la productividad de los frutales, atribuido por algunos factores genético y otros niveles nutrimentales, principalmente de magnesio (Del Rivero, 1968). Así parece ser que hay un efecto positivo inmediato del magnesio en el número de frutos por árbol.

El potasio tuvo quizá efecto en el peso de los frutos en los tres años, principalmente en el segundo año.

**Experimento de niveles de potasio.**  $YS10 = 38.0372 - 88.2019 X30 + 67.7342 X31 + 3.5163 X13 + 2.3663 X15 + 1.7241 X19$ . Con  $r$  ajustada = 0.2733. Donde YS10 = Peso de frutos por árbol de todas las cosechas; y la significancia estadística de las variables aceptadas es:

	Tolerancia	F removida	Coef. error estándar
X13 = Interacción 12-8-16 por la cosecha del primer año (1975)	0.53	35.01	14.91
X15 = Interacción 12-8-16 por la cosecha del 3er. año (1977)	0.48	11.26	20.18
X19 = Interacción 12-8-8 por la cosecha del primer año.	0.87	6.31	1.40
X30 = Temperatura media de la primera quincena de diciembre (22.06 °C)	0.90	2.95	1.38
X31 = temperatura media de la segunda quincena de diciembre (21.43 °C)	0.87	1.52	1.40

De la familia de ecuaciones para peso de frutos por árbol, en las cuatro cosechas del experimento niveles de potasio, sobresale el efecto negativo de la temperatura media de la primera quincena y positivo

de la segunda quincena de diciembre. Pudiera pensarse que el resultado negativo de la temperatura, a pesar de ser ligeramente más alta que de la segunda quincena, se deba al inicio fisiológico de la diferenciación floral un poco diferente a lo sugerido por Singh (1965). Aunque puede también estar relacionada con la atenuación déficit hídrico, como se menciona en la ecuación del número de frutos en función de las dosis de fertilización. Un efecto menor aunque positivo lo tuvieron las interacciones de los tratamientos 12-8-16 con la primera cosecha. También convendría considerar los efectos no evaluados generalmente, como es su calidad alimenticia, no solo influida por los fertilizantes sino su interacción con la temperatura y la precipitación (Voisin 1979).

**Influencia de la diferenciación floral.** Si la diferenciación floral ocurrió en un 75% antes del 12 de diciembre en 1977 y parece ser que es común en la región, ayuda a explicar la diferencia de efectos de la precipitación deficiente y las temperaturas "bajas" en ambas quincenas de diciembre. Por esta razón, en el experimento de dosis de nitrógeno, la precipitación deficiente de la primera quincena de diciembre, tuvo un efecto negativo, al hacer en el último caso quizá más marcada la necesidad del agua. Desgraciadamente no se determinó la diferenciación floral en un mayor número de años, para poder confirmar esta hipótesis.

Respecto a las temperaturas medias de la segunda quincena de noviembre (21.1 - 25 °C), éstas quizá tuvieron un efecto positivo en la diferenciación floral, puesto que ésta llegó a un 75% en la siguiente quincena. Por otra parte parece ser que en el experimento de niveles de potasio, la temperatura de la primera quincena de diciembre (22.06 °C) tuvo un efecto negativo, pero en la segunda quincena (21.43 °C) se transformó en positivo.

Esto nos permitió inferir que las temperaturas y precipitaciones de los meses de noviembre y diciembre al interacciones con el balance nutrimental, son determinaciones en la diferenciación floral y por lo tanto en la producción del mango "manila" en el estado de Veracruz.

## CONCLUSIONES

Con base en los resultados obtenidos se concluye lo siguiente:

a) Efecto de la fertilización.

1. En general la respuesta a la fertilización se da más claramente en la segunda cosecha.
2. Existe respuesta a la aplicación de nitrógeno.
3. La fórmula 15-30-15 tiene efecto más inmediato, pero la 17-17-17 tiene mayor efecto residual.
4. Existe una interacción entre las fórmulas de fertilización y su número de aplicaciones.
5. La mejor respuesta se tuvo con 2 kg árbol<sup>-1</sup> de la fórmula 18-9-18, cuatro veces al año.
6. No existe una evidencia clara de la respuesta al potasio, pero es menor aun para el fósforo.
7. Debido a la gran disparidad de las respuestas en todos los experimentos, inclusive en un solo sitio experimental, se sugiere, al aplicar fertilizantes, monitorearlos con análisis foliares.

b) Efecto de la interacción temperatura y/o precipitación con la fertilización.

1. Cuando se aplicó nitrógeno, la precipitación deficitaria de la segunda quincena de diciembre tuvo un efecto negativo sobre el peso total de frutos. Esto sugiere que la fertilización nitrogenada debe estar acompañada de riego a partir de la segunda quincena de diciembre, para influir positivamente en la producción.
2. Cuando se aplica nitrógeno, potasio y fósforo, las precipitaciones deficitarias de las primeras quincenas de los meses de diciembre ( $22.06 \pm 1.26$  mm), tuvieron un efecto positivo.
3. La interacción temperatura, precipitación y balance nutrimental en noviembre y diciembre, son determinantes iniciales en la producción del mango manila en el centro del estado de Veracruz.

### LITERATURA CITADA

- Aguilar Z., R. Mosqueda V. y F. De los Santos de la R. 1986. Aplicación de nitrato de potasio en mango manila para adelantar la floración. Despl. 1. Campo Agrícola Experimental Cotaxtla. INIFAP-SARH, Veracruz, Ver.
- BMDP. 1987. Statistical software. Los Angeles California.
- Chandler W. H. 1962. Frutales de hoja perenne. p. 666 Ed. Uthea, México, D.F.
- Cortés M. M., R. Ferrera C. y R. León-Arteta. 1984. Determinación de la endomicorriza V-A en mango *Mangifera indica* L. en el estado de Veracruz. p. 59. Res. Mem. Res. VII Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo. Guadalajara, Jalisco.
- Covarrubias A. R. y P. Yañez J. 1977. Diferenciación floral del mango "manila" en el estado de Veracruz en 1977. CONAFRUT-Veracruz. Mecanografiado.
- Covarrubias A., R. 1982. Influencia del nitrato de potasio sobre la floración del mango manila en el estado de Veracruz. p. 22 Res. III Congreso Nacional de Fruticultura. Guadalajara, Jal.
- Covarrubias A., R. y P. Yañez J. 1979. Morfología y biología floral en mango "manila" en el estado de Veracruz. I: 306-21. In: A.D. Castillo (Ed.) Mem. Simp. La investigación en CONAFRUT México, D. F.
- Del Rivero, J. M. 1968. Los estados de carencia de los agrios. Ed. Mundi Prensa. Madrid, España. pp 107-120.
- Embleton, T. W., W. W. Jones. 1954. Mango. En temperate tropical fruit nutrition. pp 66-68. Childers. (Ed.) Hort. Publ. Rutgers Sta. Univ. New Jersey USA.
- García E., R. Vidal, L. M. Tamayo, T. Reyna, R. Sánchez, M. Soto y E. Soto. 1974. Precipitación y probabilidad de lluvia en el estado de Veracruz. CETENAL, México, D. F.
- León-Arteta, R. 1984. Estudio agroclimático del mango cv. manila en el estado de Veracruz. In: A. D. Castillo (Ed.) Res. Simp. "La investigación en CONAFRUT durante 1983". México.
- León Z., A. S. y O. Palacios V. 1982. Bondad de ajuste de algunas funciones probabilísticas a la distribución de lluvia. pp. 255-268. In: Agrociencia. Ed. Esp. Centro de Hidrociencias CP, Chapingo, México.
- Méndez R. I. 1980. Modelos lineales estadísticas. CONACYT. México, D. F.
- Nieto M., E. 1978. Caracterización agroclimática de localidades por medio de fichas, diagramas y parámetros, Veracruz, Programa de Agroclimatología. CONAFRUT Mimeogr. México.
- Pérez, M. J. L. y R. León-Arteta. 1989. Influencia de las temperaturas, la precipitación y los fertilizantes en la producción de mango manila en Veracruz. In: (Ed. Vergara S. M. A., G. Alcantar G. y A. Aguilar S.) Mem. Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo. Montecillo, Estado de México.
- Ramírez, A. C. M. 1983. Relaciones hídricas en *Mangifera indica* L. cv. Irwing y Tommy Atkins en el estado de Veracruz. Tesis de Maestría. Escuela Nacional de Fruticultura. CONAFRUT-SARH Inédita.
- Singh, B. L. 1965. Biennial bearing in mango as affected by cultural operations, weather conditions and vigor. Ind. Hort. Abst. 33(1): 1800.
- Sing, B.L. 1968. The mango, botany, cultivation and utilization. World crops Book. London.
- Singh, B. L. 1977. Mango. 8:479-485. In: Koslowsky (Ed.) En ecophysiology of tropical crops. Koslowsky Ed. Acad. Press. N. Y.
- Spencer, L. J., y W. C. Kennard. 1955. Studies on mango, fruit set in Puerto Rico, Trop. Agric. 32(4): 323-330.
- Steel, H. G. D. y J. H. Torrie. 1960. Principles and procedures in statistics. McGraw Hill Book Co. Inc. N. Y.
- Voisin, A. 1979. Nuevas leyes científicas en la aplicación de los abonos, Trad. Ed. Tecnos, Madrid, España.

# EVALUACION TECNICA Y ECONOMICA DEL RIEGO RESTRINGIDO EN TRIGO DE INVIERNO EN EL BAJO LERMA DE MICHOACAN

## Technical and Economical Evaluation of Limited Irrigation of Winter Wheat in the Lerma River Basin of Michoacan

L.M. Tapia Vargas<sup>1</sup>, B.L. Gómez Lucatero y J.J. Alcántar Rocillo

### RESUMEN

La disponibilidad de agua en el Bajío michoacano para el riego de cultivos agrícolas es limitada debido al bajo caudal del río Lerma y al abatimiento del acuífero, por lo que la superficie habilitada presenta limitaciones en la expansión del cultivo en invierno. El objetivo principal de este trabajo es evaluar técnica y económicamente la factibilidad de reducir el número y la lámina de riego sin afectar el rendimiento de grano. En siembras comerciales, durante los ciclos otoño-invierno de 1992-1993 y 1993-1994, se evaluaron tres calendarios de riego: 1) siembra (S)- fin del encañe (FE); 2) siembra (S)- encañe (E)- floración (F); y 3) siembra (S)- amacollamiento (A)- espigamiento (E)- madurez lechosa (ML); y dos métodos de siembra: melgas y surcos. Los resultados indicaron que es factible eliminar un riego en el cultivo y obtener rendimientos de más de 5.0 t ha<sup>-1</sup> de grano, lo que significa ahorros de 2.0 a 2.5 mil metros cúbicos de agua ha<sup>-1</sup>; económicamente, tres riegos obtienen similar beneficio neto que cuatro riegos con aproximadamente \$1100 ha<sup>-1</sup> (US \$323.5).

*Palabras clave:* Reducción de riego, trigo, evaluación técnica y económica.

### SUMMARY

Due to groundwater depletion and scarce river volume, water availability is a critical factor for crop production in the Bajío region of Mexico.

Therefore, surface irrigation is a limiting factor for wheat production expansion. The aim of this study was to evaluate the technical and economical feasibility of reducing the amount of water and the number of irrigations without affecting grain yield. At commercial sowings, during winter of 1992-1993 and 1993-1994

1994, three irrigation schedules: 1) sowing (S)- end tillering (ET); 2) sowing (S)- tillering (T)- flowering (F); and 3) sowing (S)- jointing (J)- earing (E)- milky grain (MG) (control), were evaluated; two sowing methods were tested as well. Results indicated that it is possible to remove one watering and to obtain grain yields over 5.0 t ha<sup>-1</sup>. That means save from 2.0 to 2.5 thousand cubic meters of water hectare<sup>-1</sup>. Economically three waters are equals than four waters with almost \$ 1100 ha<sup>-1</sup> of net benefit (US \$ 323.5).

*Index words:* Water reduction, wheat, economical and technical evaluation.

### INTRODUCCION

En el área del Bajo Lerma, que comprende los municipios de La Piedad, Numanán y Yurécuaro, en Michoacán, y Pénjamo, Corralajo y Santa Ana, en Guanajuato, el trigo de invierno ha sido una opción tradicionalmente atractiva para ofrecer ganancias económicas al productor. Ante la apertura comercial de México con el exterior, el FIRA (1992) lo presenta como el único cultivo básico con rentabilidad comercial con beneficios netos de \$ 1000 ha<sup>-1</sup> (US \$330.00), además, debido a que el país no es auto-suficiente en este grano, las crecientes importaciones del cereal causan fuga de divisas, perjudicando la economía nacional.

En el Bajo Lerma, el suministro de agua para riego de cultivos agrícolas es limitado debido al escaso caudal del río Lerma y al abatimiento del acuífero, lo que origina retraso en los programas de siembra y grandes superficies de cultivo sin sembrar. Por esto, es necesario mejorar la eficiencia en el uso de agua para asegurar la conservación del recurso agua-suelo, ampliar la frontera agrícola e integrar la producción bajo un modelo de sostenibilidad.

Diferentes esfuerzos se han hecho para reducir el riego en regiones con limitada disponibilidad de agua, Insunza (1992) reporta la factibilidad de reducir en 0.95 m la lámina de riego aplicada a la alfalfa sin

<sup>1</sup>CIFAP Pacífico Centro, Apartado Postal 41, Apatzingán, Mich.

afectar la producción, con incremento de más de 300 % en la eficiencia de uso de agua.

En trigo, Sandoval *et al.* (1985) maximizaron la productividad del agua en condiciones restrictivas de humedad y encontraron que una lámina de riego de 66 cm optimiza la producción de grano en  $8.5 \text{ t ha}^{-1}$ , sin embargo, requiere un abatimiento máximo de 81, 63 y 74 % de la humedad aprovechable, para las etapas vegetativa, floración y madurez, respectivamente.

Ecobosa y Palacios (1985) determinaron una menor lámina de riego para condiciones restrictivas de humedad de sólo 50 cm, empero, el rendimiento máximo se reduce a  $4.4 \text{ t ha}^{-1}$  y se mantiene la etapa de floración como la más crítica al déficit de agua.

Doorenbos y Kassam (1979) indican que cuando no se atienden las necesidades de agua del cultivo, el déficit puede afectar el crecimiento y el rendimiento, y varía con la etapa de desarrollo, siendo más crítico al final del encañe e inicio del embuche de la espiga.

Martínez y Hernández (1991) redujeron en dos el número de riegos aplicados al trigo (de siete a sólo cinco) y, aunque la evapotranspiración real también se redujo, el rendimiento fue igual al del tratamiento más regado, con  $6.7 \text{ t ha}^{-1}$ . Resultados similares reportan Reta y Faz (1989), quienes redujeron de ocho a cuatro el número de riegos y obtuvieron rendimientos de  $6.5 \text{ t ha}^{-1}$ , iguales al tratamiento más regado.

Por su parte, Palacios y Exebio (1989) indican que para mejorar los rendimientos y aumentar la eficiencia económica en el uso del agua, no sólo debe importar el uso de agua en cuanto a cantidad, sino que debe vigilarse la oportunidad con que se dan los riegos. Aguilera y Martínez (1990) refieren que un paso inicial para el conocimiento del problema que puede existir respecto al uso del agua en la parcela, es tratar de medir la eficiencia de riego. Israelsen y Hansen (1979) citan seis rendimientos del agua para evaluar el riego parcelario: rendimiento de aplicación, de transporte y suministro, de utilización, de almacenamiento, de distribución y de evapotranspiración del agua.

La secuencia lógica de todo trabajo de investigación es: análisis agronómico, análisis estadístico y análisis económico (Harrington y Tripp, 1984): Este último paso indica qué alternativa podrá utilizarse en el proceso productivo y el porqué muchos de los resultados de investigación no se utilizan en la agricultura comercial.

Los objetivos de este trabajo fueron:

1. Reducir la lámina de riego, así como el número de riegos, sin afectar el rendimiento de grano.
2. Evaluar técnica y económicamente la forma actual de riego y la reducción propuesta.
3. Obtener un programa de riego aplicable al cultivo del trigo que haga más eficiente económica y agronómicamente el recurso agua.

## MATERIALES Y METODOS

### Localización

El trabajo se desarrolló en el municipio de Numarán, Mich., en 1992 y 1993 y en "El Corral", municipio de Pénjamo, Guanajuato, en 1993 y 1994; ambas localidades presentan suelos Vertisoles con textura arcillosa, pH ligeramente alcalino y mediana profundidad (0.80 cm). Se obtuvo una muestra para el análisis físico-químico, y la determinación de las constantes de humedad (capacidad de campo = 0.45 y punto de marchitez = 0.25); los lotes tienen representatividad respecto a los suelos de la región, en cuanto a sus propiedades físico-químicas.

### Tratamientos

Los tratamientos a evaluar fueron los siguientes:

- A. Método de siembra: a) melgas (cerradas); b) melgas con surcos (cerradas).
- B. Calendarios de riego. 1) Tres riegos, aplicados en: - siembra (S) - encañe (E) - floración (F). 2) Dos riegos, aplicados en: - siembra (S) - fin encañe (FE). 3) Testigo, cuatro riegos; aplicados en: - siembra (S) - amacollamiento (A) - espigamiento (E) - madurez lechosa (ML).

Las combinaciones de los dos factores de estudio dieron un total de seis tratamientos, cada tratamiento constó de una parcela de 5 m de ancho por 200 m de largo. Cada parcela se separó con otra melga del mismo tamaño, también sembrada. La semilla utilizada fue de la variedad Salamanca por ser la de mayor superficie sembrada en la región.

### Manejo del Experimento

- Siembra: se efectuó en forma mecánica a 17 cm de separación entre líneas, con una densidad de  $150 \text{ kg de semilla ha}^{-1}$ , la semilla se depositó en el fondo a

chorrillo, el 27 de diciembre de 1992 en la localidad de Numarán y el 5 de enero de 1993 en Pénjamo, Gto.

- Fertilización: de acuerdo con la recomendación de Gómez *et al.* (1990), para el Distrito de Desarrollo 068 de La Piedad, se aplicó la dosis 120-80-0 kg de N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> y K ha<sup>-1</sup>. El nitrógeno se aplicó en partes, una mitad en la siembra y otra en el primer riego de auxilio.

### Toma de Datos

La información registrada del experimento se dividió en tres aspectos: 1) Del cultivo: fenología del cultivo para aplicar los tratamientos, rendimiento de grano de cada tratamiento estimado mediante muestreo en 2 m<sup>2</sup> del terreno, en cada punto de monitoreo de la humedad del suelo, excepto en Numarán donde sólo se tomaron tres repeticiones. 2) Del clima: las variables del clima registradas: evaporación del tanque "A", precipitación y temperaturas máximas y mínimas. 3) Del suelo: durante el ciclo del cultivo se efectuaron los muestreos de humedad del suelo mediante las lecturas del aspersor de neutrones, Troxler serie 3320, a la profundidad 10 a 60 cm. La ecuación de calibración fue  $H = -0.365 + 0.638 (R_i/R_o)$  con  $R^2 = 0.81$  donde, H = humedad del suelo (w) y  $R_i/R_o$  = relación de conteo del aspersor. Los tubos de aluminio se colocaron a cada 20 m a lo largo de cada melga experimental. 4) Del riego: se obtuvo la lámina de riego aplicada a cada tratamiento.

### Análisis de la Información

- Análisis de varianza del rendimiento de grano.  
 - Respecto al riego, las pruebas de riego indicarán el mejor método de siembra y el mejor calendario de riego por la determinación de los siguientes parámetros (Israelsen y Hansen 1979): 1) eficiencia de aplicación (Ea), la relación entre la cantidad de agua infiltrada en la zona radicular y el agua aplicada; 2) eficiencia de requerimiento (Er), la relación entre el agua almacenada en la zona radicular y el agua requerida en la zona radicular; 3) eficiencia de uso de agua (Eua), relación entre el rendimiento de grano y el agua aplicada; 4) uniformidad de distribución (Ud), relación entre la desviación de cada una de las observaciones y el promedio de lámina aplicada a lo largo de la melga.

### Función de Respuesta al Agua

Con el paquete estadístico SAS, se corrió la regresión entre el rendimiento obtenido como variable dependiente y el número de riegos, el método de riego y el año agrícola, como variables independientes.

Para evaluar la respuesta del cultivo a la cantidad de agua aplicada, se utilizó la metodología propuesta por Palacios y Exebio (1989), basada en la siguiente expresión:

$$\frac{\partial Y_i}{\partial X_i} = \frac{P_a}{P_i} \quad (1)$$

La expresión, condición necesaria para un máximo, indica que la derivada de la función que relaciona la cantidad de agua usada (X<sub>i</sub>), con el rendimiento (Y<sub>i</sub>), debe ser igual a la relación entre el costo del agua (P<sub>a</sub>) y el precio del producto del cultivo (P<sub>i</sub>).

### Análisis Económico

Se utilizó la metodología propuesta por Harrington y Tripp (1984), basada en la obtención del presupuesto parcial y el análisis marginal con sus componentes: análisis de dominancia, tasa marginal de retorno y tasa mínima de retorno. El método compara los beneficios netos obtenidos para cada tratamiento de estudio, con los costos variables del mismo y mediante sencillas operaciones matemáticas, indica que tratamiento es el más viable de adoptar por los agricultores. En el Cuadro 1 se presentan los costos de producción del cultivo del trigo en la región, sin incluir los costos variables; estos últimos fueron el costo del agua y el costo de aplicación.

Debido a que en ambas localidades se regó con bomba de pozo profundo, para obtener el costo del agua se procedió a efectuar un aforo de la bomba por el método de la trayectoria (Briones y García, 1988), a la salida de la bomba y el método del flotador (Briones y García, 1988), en la acequia principal de la parcela. Debido a que ambas determinaciones tuvieron una desviación de 10 %, se tomó el promedio y se fijó en 30.1 L s<sup>-1</sup> el gasto de la bomba (30.1 L s<sup>-1</sup> = 108 m<sup>3</sup> h<sup>-1</sup>).

**Cuadro 1. Costos fijos (CF) del trigo con riego restringido en el Bajo Lerma, Michoacán-Guanajuato, 1993-1994.**

Insumo o servicio	Cantidad	Costo	
		ha <sup>-1</sup>	\$ US \$
Barbecho y rastreo			225.00 66.20
Siembra y fertilización			75.00 22.13
Semilla	150 kg		300.00 88.23
Urea	260 kg		230.00 52.94
Superfosfato triple	175 kg		122.00 35.88
Cosecha y trilla			150.00 14.71
Herbicida Puma	2 L		250.00 73.53
Aplicación de herbicida	2 jornales		50.00 14.71
Segunda fertilización	2 jornales		50.00 14.71
Mantenimiento bomba (cuatro meses)			100.00 58.82
<b>Total</b>			<b>1 552.00 456.47</b>

En la bomba de Numarán se tiene un consumo promedio de 7600 kw h<sup>-1</sup> con un costo promedio de \$842.00 (\$0.11 kw h<sup>-1</sup>), mientras que en Pénjamo el consumo promedio es de 27 765 kw h<sup>-1</sup> con un costo de \$3 504.00 (\$0.13 kw h<sup>-1</sup>), promediando ambos valores, se obtiene un costo de \$ 0.12 kw h<sup>-1</sup> (U.S. \$0.035), similar al costo de la energía eléctrica de bombeo reportado en 1979 (Banco Mundial, 1980). El consumo por hora de trabajo de la bomba, es por diferencia de lecturas entre una hora y otra, y promediando un total de 10 horas, un promedio de 44 kw, entonces, el costo por hora de trabajo de la bomba (CHTB) es CHTB= 44 kw \* \$ 0.12 kw h<sup>-1</sup> = \$5.30 h<sup>-1</sup>; así el valor del agua m<sup>3</sup> será la relación: \$5.30 h<sup>-1</sup> / 108 m<sup>3</sup> h<sup>-1</sup> = \$ 0.05 m<sup>-3</sup>, estos costos son para el productor propietario del equipo de bombeo, la renta del equipo con fines de riego agrícola, usualmente se incrementa hasta en 500 % el costo por hora de riego, es decir, hasta \$30.00 la hora.

Los costos por mantenimiento del equipo de bombeo se refieren básicamente al lubricante empleado en la operación, se fijó en (\$25.00 por mes), los costos de amortización de la inversión en el equipo, no se tomaron en cuenta en este trabajo, debido a que los equipos tienen más de 10 años y ya fueron pagados. El jornal de riego se pagó en la región a \$50.00 y se requieren dos jornales ha<sup>-1</sup> por riego, la distribución de costos variables por tratamiento se presenta en el Cuadro 2.

**Cuadro 2. Costos variables por tratamiento de riego en trigo para los dos años de estudio en Numarán, Michoacán, y Pénjamo, Guanajuato. 1994.**

Tratamiento	Volumen		Jornales	Total	
	agua	Costo		\$ ha <sup>-1</sup>	US \$ ha <sup>-1</sup>
	m <sup>3</sup>	\$ m <sup>-3</sup>	ha	\$ ha <sup>-1</sup>	US \$ ha <sup>-1</sup>
1993					
2R melgas	4 170	204.60	4	404.60	119.00
3R melgas	6 510	319.50	6	519.50	152.79
4R melgas	8 810	432.30	8	832.30	244.80
2R surcos	4 010	196.80	4	396.80	116.71
3R surcos	5 900	289.50	6	589.50	173.40
4R surcos	7 750	380.30	8	780.30	229.50
1994					
2R melgas	4 520	221.60	4	421.60	124.00
3R melgas	7 060	347.50	6	647.50	190.44
4R melgas	8 790	432.70	8	832.70	244.91
2R surcos	4 150	204.03	4	404.30	118.91
3R surcos	6 220	305.30	6	605.30	178.03
4R surcos	7 570	372.00	8	772.00	227.06

#R = Número de riegos del tratamiento.

## RESULTADOS Y DISCUSION

### Evaluación del Riego

En el Cuadro 3 se presenta el efecto de la reducción del riego en el rendimiento de grano, el cual es directamente proporcional a la lámina de riego aplicada en los dos métodos de siembra. De acuerdo con el análisis de varianza, hubo diferencia estadística entre tratamientos de riego, mas no para el método de siembra (Cuadro 4), a pesar de que se observa mayor rendimiento en melgas que en surcos, en los dos años de estudio.

De acuerdo con el Cuadro 3, la diferencia en rendimiento de grano sólo alcanza al tratamiento con dos riegos en los dos métodos de siembra, lo que significa que el tratamiento con sólo tres riegos durante el ciclo es semejante en rendimiento de grano que regar en cuatro oportunidades. Ello refleja que más que la cantidad y frecuencia del riego, lo importante es la oportunidad, lo cual se cumplió en el tratamiento con tres riegos proporcionados en las etapas más críticas del ciclo de cultivo y son, de acuerdo con Doorenbos y Kassam (1979), el final del encañe y la floración,

**Cuadro 3. Efecto de la reducción de riego en el rendimiento de grano y evapotranspiración real (ETr) en trigo del Bajo Lerma, Michoacán-Guanajuato. 1993-1994.**

Tratamiento	Rendimiento t ha <sup>-1</sup>	Lámina riego ----- cm	ET real ----- cm	Ev. Tanque "A"	EUA kg m <sup>-3</sup>
1992-1993					
2R melgas	4.4 bc	41.7	34.3	74.6	1.06
3R melgas	5.4 ab	65.1	38.9		0.91
4R melgas	6.4 a	88.1	62.5		0.74
4R surcos	5.2 b	77.5	53.5		0.67
3R surcos	4.8 bc	59.0	38.2		0.81
2R surcos	4.3 bc	40.1	34.4		1.07
1993-1994					
2R melgas	4.9 c	45.2	32.7	71.8	1.08
3R melgas	6.2 ab	70.6	41.3		0.88
4R melgas	6.9 ab	87.9	62.2		0.78
4R surcos	6.2 ab	75.7	54.2		0.82
3R surcos	5.9 b	62.2	36.2		0.95
2R surcos	4.9 c	41.5	31.8		1.06

R = Riegos; EUA = Eficiencia de uso de agua.

Rendimientos con la misma letra iguales al 5 % de probabilidad.

**Cuadro 4. Análisis de varianza de rendimiento de grano en trigo con riego reducido en el Bajo Lerma de Michoacán y Guanajuato. 1993-1994.**

Fuente	G.L.	Cuadrado medio	F calc.
1993			
Rep	2	1.111	2.1
Mét. siembra	1	1.934	3.6 NS
Error	2	0.537	
Riego	2	3.529	18.1***
Interacción	2	0.482	2.5
Error	8	0.195	
1994			
Rep	9	0.993	
Mét. siembra	1	3.700	2.8 NS
Error	9	1.312	
Riego	2	19.651	22.0***
Interacción	2	0.225	
Error	36	0.892	

\*\*\* Significativo a 0.01; NS = No significativo.

incluso el tratamiento con sólo dos riegos produjo un rendimiento aceptable ( $> 4.3 \text{ t ha}^{-1}$ ), debido al riego proporcionado al final del encañe. Rendimientos más bajos han obtenido Tapia *et al.* (1993), en trigo con dos riegos pero proporcionados hasta el espigamiento.

Los rendimientos obtenidos son superiores a la media regional ya que de acuerdo con Gómez *et al.*

(1990), el rendimiento medio de trigo con riego en esta región alcanza  $4 \text{ t ha}^{-1}$ . Sin embargo, de acuerdo con la respuesta lineal observada, el rendimiento puede incrementarse, ya sea con un mayor número de riegos o con dosis de fertilización más altas.

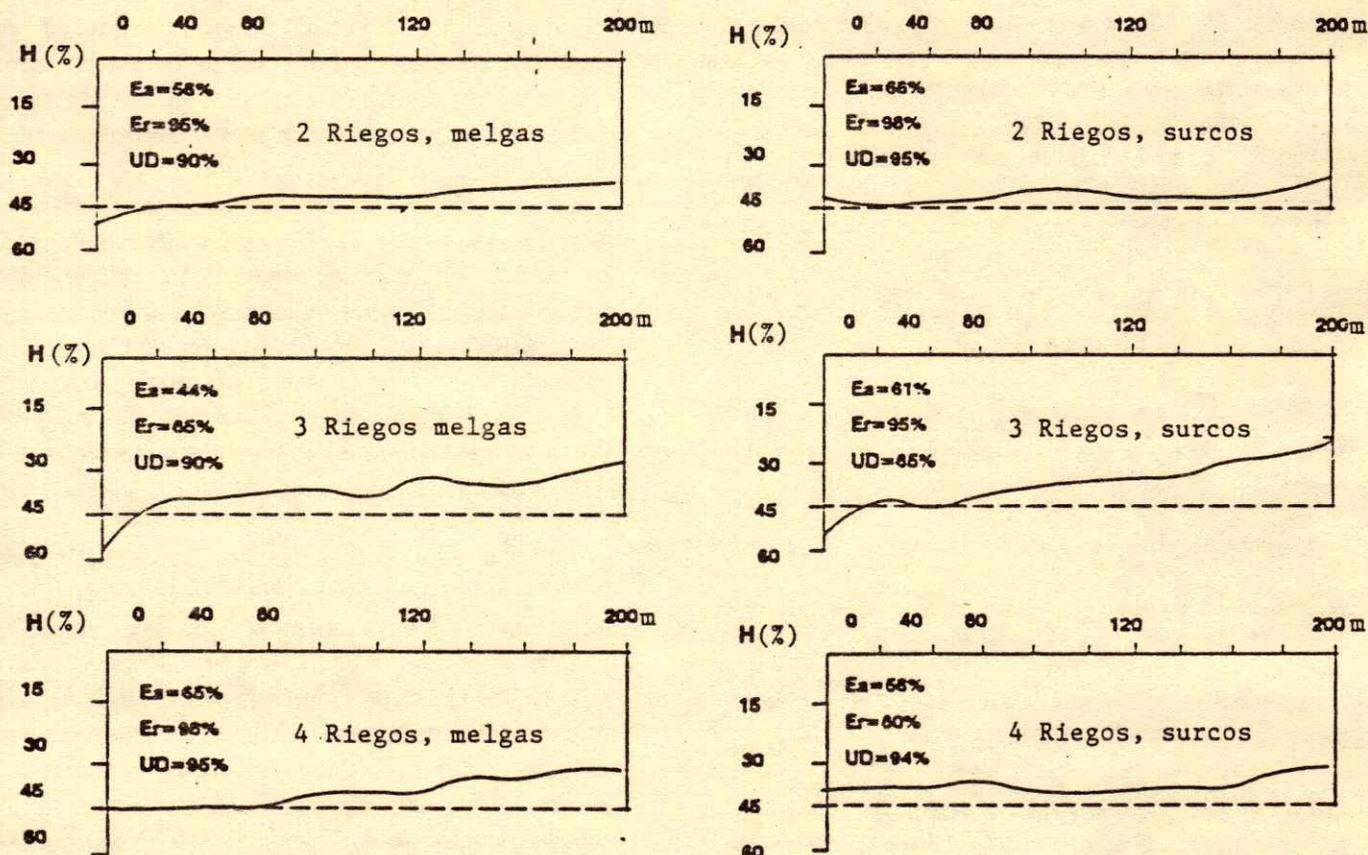
La lámina de agua consumida (ET real) por tratamiento tuvo relación directa con el rendimiento y la lámina de riego, lo que indica la aptitud del cultivo para utilizar más agua cuando se le proporciona en mayor cantidad (Cuadro 3). Información similar han reportado Reta y Faz (1989) y Martínez y Hernández (1991), sin embargo, algunos autores indican que la lámina que maximiza el rendimiento está entre 80 y 95 cm (Escobosa y Palacios, 1985; Sandoval *et al.*, 1985).

La eficiencia de uso de agua tuvo una relación inversa con la lámina de riego aplicada (Cuadro 3), lo que indica que los tratamientos con menor suministro de agua pudieron utilizarla mejor en conversión de grano (0.9 a  $1.1 \text{ kg}$  de grano por metro cúbico de agua utilizada); esto demuestra que el calendario con cuatro riegos, el cual se utiliza ampliamente en la región, es el de menor eficiencia en cuanto a conversión insumo (agua)-producto (grano), menos de  $0.8 \text{ kg}$  de grano por metro cúbico de agua suministrada.

En la Figura 1 se muestran las eficiencias de riego obtenidas en promedio en cada uno de los tratamientos de estudio en la localidad de Numarán, Mich. En general, no existe gran diferencia en los parámetros eficiencia de aplicación (Ea), eficiencia de requerimiento (Er) y uniformidad de distribución (UD), respecto al número de riegos aplicados, esto indica que no se espera un incremento o decremento de la eficiencia de riego por la reducción del número de riegos aplicados.

Las Ea y Er obtenidas están entre 60 y 90 %, respectivamente, mientras que la uniformidad de distribución es superior a 90 % en todos los tratamientos. En este trabajo, las eficiencias de aplicación son menores que las reportadas por Martínez y Chávez (1985), para surcos de 200 m de largo, sin embargo, se aproximan a las reportadas por Palacios y Exebio (1989), para el Distrito de Riego Río Mayo, Sonora.

La obtención de estas variables (Ea, Er y UD), demuestra técnicamente que independientemente del número de riegos cabe esperar altas eficiencias de riego en ambos métodos de siembra y en ambas localidades, la distancia de riego que el productor



H = Humedad del suelo

Figura 1. Eficiencia de riego en trigo (medias), de acuerdo con el número de riegos y el método de siembra. Numanán, Michoacán. 1993.

maneja (200 m), facilita una buena uniformidad en la distribución del agua (>85 %), a lo largo de la melga, lo que permite un crecimiento uniforme del cultivo, tanto en las cabeceras como en el final de la tabla. Asimismo, las  $E_a$  y  $E_r$  no mostraron gran variación dentro de las localidades, pero sí entre localidades.

En la localidad Pénjamo (Figura 2) se presentan los resultados de las pruebas de riego para ambos métodos de siembra y calendarios de riego, en este año se logró incrementar las  $E_a$  y  $E_r$  en más de 5 % respecto a 1993, los valores alcanzados en promedio fueron de 65 y 95 % para  $E_a$  y  $E_r$ , respectivamente. Al analizar por tratamiento de riego, se aprecia una vez más que no existió efecto del número de riegos en el aumento o disminución de la eficiencia de riego. En general, se observa que en la localidad Pénjamo (Figura 2) se presentaron eficiencias de riego más altas respecto a la localidad Numanán (Figura 1), ello pudo deberse a que las condiciones de pendiente eran

menores en la primera localidad (1 %), mientras que en la segunda era de 1.5 %, lo cual permite un mejor manejo del agua de riego.

### Función de Producción

El análisis de regresión efectuado mostró que la respuesta del trigo al número de riegos, al año agrícola y al método de riego fue significativa. La función de producción presenta la forma siguiente:

$$Y = 1.28 + 0.775 NR + 0.75 A + 0.483 MR \quad R^2 = 0.92 \quad (2)$$

(0.101)\*\* (0.165)\*\* (0.165)\*\*

Donde:

NR = Número de riegos

A = Año agrícola (1= 1992-1993), (2=1993-1994)

MR= Método de riego (1= melga), (2= surcos)

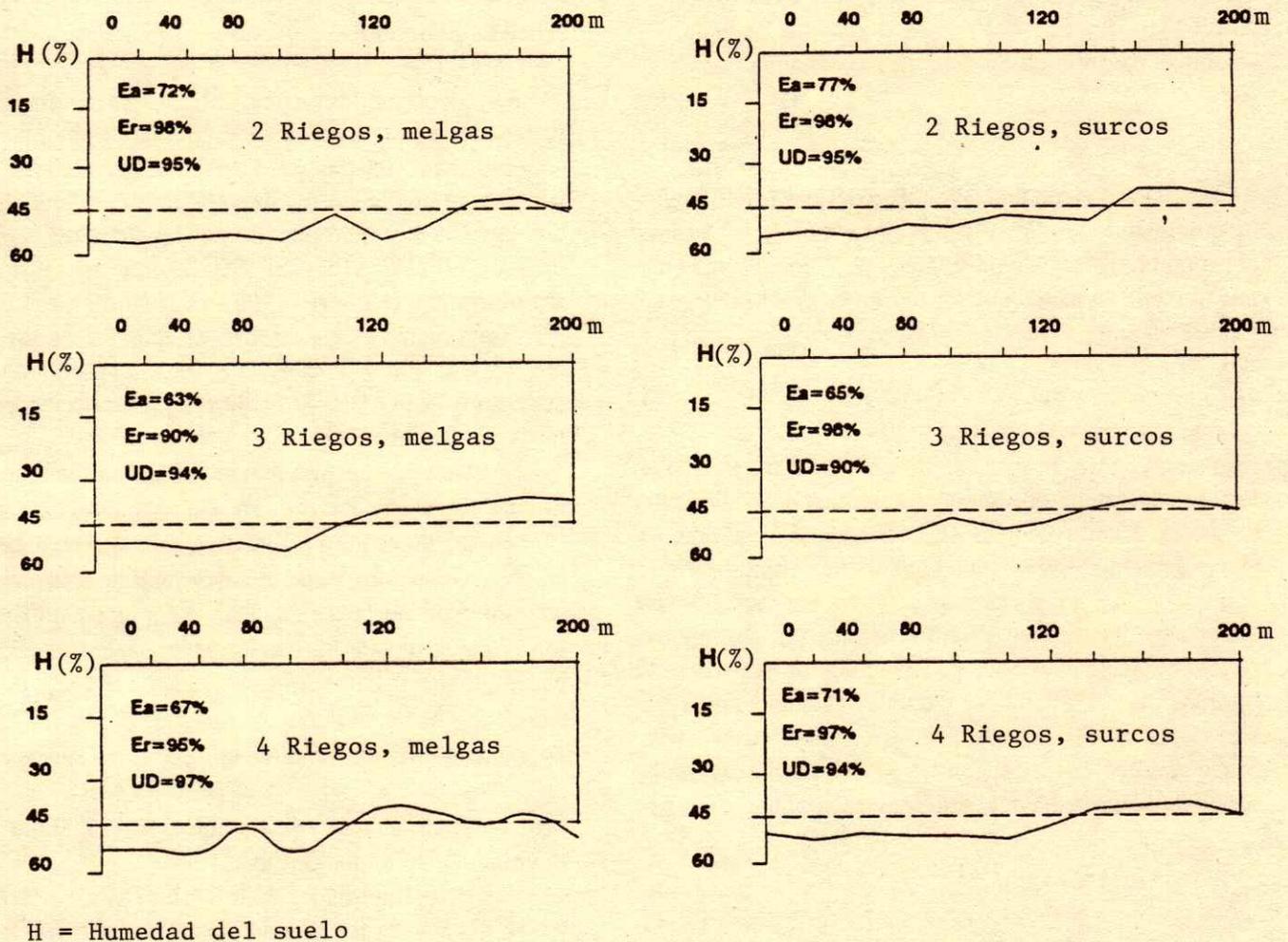


Figura 2. Eficiencia de riego en trigo (medias), de acuerdo con el número de riegos y el método de siembra. Pénjamo, Guanajuato, 1994.

Aun cuando no puede extrapolarse la función más allá del límite máximo evaluado en este trabajo (cuatro riegos), la ecuación indica que el cultivo podría tener respuesta a riegos sucesivos y que probablemente al aplicar más riegos, se obtendrán incrementos en la producción, lo que implica que aunque agrónomicamente se supere el rendimiento, es importante saber si la producción con riegos sucesivos paga el costo del agua, como se discutirá más adelante. Los rendimientos obtenidos son superiores a la media regional ya que de acuerdo con Gómez *et al.* (1990), el rendimiento medio de trigo con riego en esta región alcanza  $4 \text{ t ha}^{-1}$ , sin embargo, de acuerdo con la respuesta lineal observada, el rendimiento puede incrementarse, ya sea con un mayor número de riegos o con mayores dosis de fertilización, que para esta

región podrían ser más altas, como lo manifiesta Solís *et al.* (1990).

La metodología de Palacios y Exebio (1989), aplicada a los resultados del experimento para obtener la respuesta del cultivo en función del agua, presenta la siguiente secuencia: la función de producción obtenida entre  $Y = \text{rendimiento de grano (t ha}^{-1}\text{)}$  y  $X = \text{consumo de agua (m)}$  fue:

$$Y = 1.864 + 11.1 X - 5.804 X^2 \quad (3)$$

Con  $R^2 = 0.49$  y  $F_c = 5.69^*$ . La relación entre  $X = \text{agua evapotranspirada durante el ciclo de cultivo (m)}$  y  $H = \text{humedad del suelo al efectuar el primer riego de auxilio (\%)}$ , factor clave en el trabajo, fue:

$$H = 0.095 + 0.351 X \quad (4)$$

con  $R^2 = 0.24$  y  $F_c = 3.16$  \*. Al derivar la Ecuación 3, se obtiene la productividad marginal del agua:

$$Y' = 11.1 - 11.608 X \quad (5)$$

La Ecuación 5 tiene una segunda derivada negativa por lo que se puede encontrar un máximo de la lámina consumida, igualando la Ecuación 5 con el segundo miembro de la Ecuación 1, que es el precio del agua \*  $1\ 000\ m^3$  entre el precio \*  $t^{-1}$  de grano:

$$11.1 - 11.608 X = \$ 50.0 / \$ 550.0 \quad (6)$$

resolviendo para X, se tiene que  $X = 0.95\ m$ , que es la lámina consumida óptima que maximiza el rendimiento de grano. Sustituyendo X en la Ecuación 1, se obtiene el rendimiento óptimo sin condiciones limitativas de agua  $Y = 7.2\ t\ ha^{-1}$ , ambos valores óptimos no son alcanzados en ningún tratamiento, aunque con cuatro riegos en melgas se tienen rendimientos cercanos al óptimo con  $6.5$  y  $6.9\ t\ ha^{-1}$ , iguales estadísticamente a tres riegos en melgas con  $5.9$  y  $6.2\ t\ ha^{-1}$ , (Cuadro 3). Sin embargo, en condiciones restrictivas de agua, la productividad media del agua está dada por:

$$\frac{Y}{X} = \frac{1.864 + 11.1X - 5.804X^2}{X} \quad (7)$$

Igualando las Ecuaciones 5 y 7 y resolviendo para X se tiene  $X^* = 0.56\ m$  que es la lámina de agua óptima que maximiza la producción en condiciones restrictivas de agua, similar a la reportada por Escobosa y Palacios (1985),  $X = 0.50\ m$ ; sustituyendo  $X^* = 0.56$  en la Ecuación 3, se tiene  $Y = 6.3\ t\ ha^{-1}$ , que es la producción óptima en caso de limitaciones de agua. Ambos valores son idénticos al tratamiento con cuatro riegos en surcos y tres riegos en melgas pero con láminas de agua de  $12$  a  $17\ cm$  menos que el tratamiento con cuatro riegos en melgas.

Para determinar el momento en que debe regarse, en condiciones restrictivas de agua, se sustituye el valor de  $X^*$  en la Ecuación 4 y resolviendo  $H^* = 0.29$ , que indica la oportunidad del riego, al llegar la humedad del suelo ( $w$ ), a  $0.29$ , o sea,  $29\ %$  (humedad aprovechable =  $20\ %$ ).

## Análisis Económico

Al encontrar diferencia estadística entre calendarios de riego, se justifica el análisis económico, de acuerdo con Violic *et al.* (1989). En el Cuadro 5 se presenta el análisis económico de cada tratamiento; en ambos años el precio pagado por tonelada de trigo fue de  $\$550.00$  (US  $\$161.76$ ),  $\$10.00$  más barato que el reportado por el FIRA (1992), el costo de producción del tratamiento con cuatro riegos (testigo) fue aproximadamente de  $\$2450$  (US  $\$721$ ), ligeramente superior a  $\$2114$  (US  $\$621.80$ ), del productor nacional medio de trigo referido por el FIRA (1992).

Los beneficios netos obtenidos fueron más altos en la siembra en melgas que en surcos, sobretodo en el primer año de estudio, lo cual se debe a que la lámina de riego es menor ya que el surco facilita la llegada del agua al final de la melga. Lo más importante de esta información es que no existe un incremento alto en el beneficio neto entre tres y cuatro riegos, lo que significa que la adición de un cuarto riego produce ligeramente mayor rendimiento, pero no justifica la inversión en el pago del agua, además de que contribuye a abatir los acuíferos de El Bajío y a mermar el caudal del Lerma.

Las tasas marginales de retorno (TMR), mostradas en el Cuadro 5, indican la superioridad respecto al tratamiento con dos riegos, de los tratamientos con tres y cuatro. En 1993, el efecto fue más marcado en melgas con  $378\ %$ , esto significa que con cada peso invertido se recupera uno más  $3.78$  al agregar un tercer riego, mientras que en surcos la recuperación sólo es de  $0.42$  centavos.

En 1994, las TMR fueron más altas al agregar el tercer riego, respecto a dos riegos, en ambos métodos de siembra con TMR de  $218$  y  $328\ %$  para melgas y surcos, respectivamente, reduciéndose el efecto al cuarto riego con  $98$  y  $0\ %$  en ambas situaciones. Esto apoya lo que ya se había detectado el año anterior de que con tres riegos se optimiza económicamente, al mismo tiempo que se incrementa la eficiencia del recurso agua en el Bajo Lerma, al gastar menos agua y obtener un similar beneficio económico. Aun cuando para melgas se tuvo un TMR de  $98\ %$ , el beneficio neto obtenido no justifica la inversión, como lo

**Cuadro 5. Análisis económico del trigo con riego restringido en el Bajo Lerma, Michoacán-Guanajuato. 1993-1994.**

Tratamiento	Costo variable (CV)	B.bruto (BB) (Rend.*VP)	B. neto (BN)		TMR
			(\$)	(US \$)	
1992-1993					
2R melgas	404.6	2 420.0	363.4	106.8	
3R melgas	519.5	2 970.0	798.5	234.8	378.0
4R melgas	832.3	3 575.0	1 090.7	320.8	93.5
2R surcos	396.8	2 365.0	316.6	93.1	
3R surcos	589.5	2 640.0	398.5	117.2	42.7
4R surcos	780.3	2 860.0	427.7	125.8	15.3
1993-1994					
2R melgas	421.6	2 700.5	626.9	184.4	
3R melgas	647.5	3 421.0	1 121.5	329.8	218.9
4R melgas	832.7	3 789.5	1 304.3	383.6	98.9
2R surcos	404.0	2 409.0	353.0	103.8	
3R surcos	605.3	3 272.0	1 014.7	298.4	328.9
4R surcos	772.0	3 410.0	986.0	290.9	

BB, BN, CV: NS ha<sup>-1</sup>; VP = Valor de la producción (VP=Rend\*\$550.0).

TMR = Tasa marginal de retorno.

argumenta Harrington y Tripp (1984), para TMR abajo de la unidad.

Suponiendo que el valor del capital es de 30 % de interés bancario (tasas de 1994), más 10 % por prima bancaria, más 20 % por manejo, se tiene una tasa mínima de retorno de 60 %, superada en forma substancial por el tratamiento con tres riegos, lo cual justifica económicamente la reducción de un riego, ya que desde el punto de vista económico, es igual aplicar tres o cuatro riegos en siembras de trigo con melgas o surcos. FIRA (1992) presenta al cultivo del trigo como una opción singular dentro de los cultivos básicos, ante la apertura comercial, lo que se comprobó en este trabajo.

## CONCLUSIONES

1. Sin afectar el rendimiento, económicamente es factible reducir en uno el número de riegos que se aplican al cultivo de trigo en el Bajo Lerma, Michoacán.
2. Con el manejo actual de riego se desperdicia un riego cuando el cultivo no lo necesita y puede restringirse el primer riego de auxilio hasta que la humedad aprovechable disminuya a 20 %, o a los 50 días del cultivo.
3. La eficiencia de riego no se afecta por la reducción del número de riegos y el beneficio económico es

mayor, dependiendo de la localidad, al aplicar riego en melgas o en surcos.

4. La reducción de un riego significa de 1700 a 2500 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>, suficientes para uno o dos riegos en otros cultivos o recarga del acuífero.

5. Un programa de riego que hace más eficiente el riego y el uso de agua, sin afectar el rendimiento es: siembra (S), final del encañe (E) y floración (F).

## RECONOCIMIENTO

*In memoriam* del Ing. Eduardo Villaseñor Peña, auténtico mecenas del trabajo de investigación. *Requiem in pace*. A Teresa y Mariana, En su memoria, dondequiera que estén (*Requiem in pace*).

## LITERATURA CITADA

- Aguilera C., M. y R. Martínez E. 1990. Relaciones agua suelo planta atmósfera. 4a. ed. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México.
- Banco Mundial. 1980. Evaluación del proyecto de regadío de Apatzingán. Banco Mundial. Informe 2915. México, D.F.
- Briones S., G. y I. García C. 1988. Aforo del agua en canales y tuberías. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Buenavista, Saltillo, Coah.
- Doorenbos, J. y A.H. Kassam. 1979. Efectos del agua sobre el rendimiento de los cultivos. FAO. Roma, Italia. 170-176
- Escobosa O., J. y E. Palacios V. 1985. Construcción y uso de una función de respuesta del trigo en base a las variaciones de humedad del suelo. *Agrociencia* 59: 25-38.
- FIRA (Fideicomisos Instituidos en Relación con la Agricultura). 1992. Análisis de productividad y rentabilidad de siete cultivos básicos. FIRA. Boletín Informativo. Morelia, Michoacán. 24(240): 1-40.
- Gómez L., B.L., R. González I. y A. González T. 1990. Guía para cultivar trigo en Michoacán. Serie Folleto para Productores 2. CIFAP Michoacán. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias - Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos.
- Harrington, L.W. y H.I. Tripp. 1984. Dominios de recomendación en la estrategia de investigación en fincas del CIMMYT. Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo. El Batán, México.
- Israelsen, W.O. y E.V. Hansen. 1979. Principios y aplicaciones del riego. Ed. Reverté. 2a. ed. Barcelona, España.
- Insunza I., M.A. 1992. Respuesta de la alfalfa a diferentes contenidos de humedad del suelo. *Terra* 9: 129-138.
- Martínez E., R. y J. Chávez M. 1985. Metodologías para diseño de riego en surcos y melgas con reducción de gasto. *Agrociencia* 59: 71-93
- Murrieta B., F. y A. Valenzuela P. 1992. Optimización de los riegos de auxilio del trigo en función de etapas fenológicas. Memorias XXV Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo. Acapulco, Guerrero. Méx. p. 346.

- Martínez, R., J.G. 1991. Efecto del riego sobre el rendimiento y sus componentes en trigo. Memorias XXIV Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo. Pachuca, Hidalgo. p. 157
- Palacios V., E. y A. Exebio G. 1989. Introducción a la teoría de la operación de distritos y sistemas de riego. C.P. Montecillo, México.
- Reta S., D. y C.R. Faz. 1989. Efecto del número y oportunidad de riegos sobre el rendimiento de grano y crecimiento de trigo. Memorias XXII Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo. C.P. Chapingo, México. p. 197.
- Sandoval O., J., E. Palacios V. y C. Ramírez A. 1985. El régimen de humedad en el suelo y su efecto sobre componentes del rendimiento de grano del trigo. *Agrociencia* 59: 7-24.
- Solis M., E., G. Díaz C., A. Arévalo V., H. Rodríguez G., M.A. Vuelas C., F. Rizo L. y A. Castrejón S. 1990. Guía para cultivar trigo de riego y temporal en Guanajuato. Folleto para Productores 3. CIFAP Guanajuato. Celaya, Gto. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias -Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos.
- Tapia V., L.M., B.L. Gómez L. y J.J. Alcántar R. 1993. Respuesta al régimen hídrico del cultivo del trigo en la cuenca del Bajo Lerma. VI Reunión Científica Forestal y Agropecuaria (Memorias). Morelia, Michoacán. p. 116.
- Violic, A.D., F. Kocher, A.F.E. Palmer, y T. Nibe. 1989. Experimentación sobre labranza cero en maíz en la región costera del norte de Veracruz. Centro Internacional para el Mejoramiento del Maíz y el Trigo. El Batán, México.

# EVALUACION DE SISTEMAS DE LABRANZA Y VARIEDADES DE FRIJOL BAJO TEMPORAL LIMITATIVO

## Tillage Practices and Bean Varieties under Rain-fed Conditions

M. Baray Tarango<sup>1</sup>, J. Ruiz Vega<sup>2</sup>, J.V. Rojo Soberáñez<sup>1</sup> y V. Velasco Velasco<sup>1</sup>

### RESUMEN

El sistema de labranza tradicional (barbecho y rastreo o dos pasos de yunta antes de la siembra), practicado en los Valles Centrales de Oaxaca, ocasiona erosión hídrica en suelos con pendiente elevada, deterioro de algunas propiedades físicas del suelo e incrementos en costos de producción. Durante el ciclo primavera-verano de 1994, en Cruz Blanca, Cuilapam, Oaxaca, se estableció un experimento de campo para estudiar el efecto a corto plazo de tres sistemas de labranza: tradicional (LT), mínima con cubierta vegetal (LMCC) y mínima sin cubierta vegetal (LMSC), sobre algunas características del suelo, el rendimiento y rentabilidad económica de dos variedades de frijol. El diseño experimental fue el de bloques al azar en parcelas divididas, con cuatro repeticiones. En general, el contenido de humedad del suelo fue mayor con LMCC cuando la precipitación observada era mayor que 40 mm por evento y mayor con LMSC y LT cuando la precipitación era menor que 20 milímetros. La densidad aparente fue mayor con LT al inicio del experimento. El rendimiento de grano fue igual bajo LT y LMCC, pero menor bajo LMSC. Sin embargo, desde el punto de vista económico fue mejor sembrar la variedad criolla bajo LMSC que la variedad Jamapa.

*Palabras clave:* Sistemas de labranza, rendimiento de grano, rentabilidad económica, humedad del suelo.

### SUMMARY

Traditional tillage systems in Oaxaca's Central Valleys are leading to hydric soil erosion in sloping land, deterioration of some soil physical properties, and higher production costs. In order to study the short term effects

of tillage systems traditional (T), minimum tillage with mulch (MM) and minimum tillage without mulch (M) on some soil characteristics, and on seed yield and economic profitability of two bean varieties, a field experiment was carried out. The experiment was laid in a completely randomized block design arranged in split plots, and was replicated four times. Soil moisture content was higher under MM when the amount of rain per event exceeded 40 mm and was higher under M when the amount of rain was less than 20 mm per event. At the beginning of the crop's cycle the soil bulk density was smaller under T. Grain yield was not statistically different between traditional tillage and minimum tillage with mulch, but was lower under minimum tillage without mulch. However, due to its lower variable production costs, this last tillage system combined with the local variety had a higher economic profitability.

*Index words:* Tillage systems, grain yield, economic profitability, soil moisture.

### INTRODUCCION

En la región de los Valles Centrales de Oaxaca, la sequía intraestival ocasiona pérdidas de 50 a 100 % en el rendimiento del cultivo de frijol (Ruiz, 1994). El rendimiento de grano promedio apenas alcanza 200 kg ha<sup>-1</sup> (CAEVOAX, 1983). Tradicionalmente los agricultores de la región preparan el suelo antes de la siembra mediante un barbecho y un rastreo o mediante dos pasos de yunta; este sistema de labranza puede incrementar la erosión hídrica, mayores costos de producción, menor conservación de la humedad de suelo, y deterioro de algunas propiedades físicas del suelo (Ruiz, 1990).

Derpsch *et al.* (1986), en el periodo de 1977 a 1984, en Paraná, Brasil, estudiaron la influencia de la labranza y la cubierta vegetal, sobre el rendimiento de los principales cultivos y sobre algunas propiedades del suelo, encontrando que el volumen de poros totales y el volumen de poros grandes fueron menores con el sistema de no labranza (NL), por lo que la densidad aparente en la capa superior del suelo fue mayor con este sistema comparado

<sup>1</sup> CIGA-Instituto Tecnológico Agropecuario de Oaxaca No. 23-SEP. Nazareno Xoxocotlán, Oaxaca.

<sup>2</sup> CIIDIR-IPN-Oaxaca, calle Hornos s/n, Indeco-Xoxo, Santa Cruz Xoxocotlán, Oaxaca.

E-mail: JVEGA@VMREDIPN.IPN.MX

Aceptado: Agosto de 1996.

con los sistemas de labranza mínima (LM) y labranza convencional (LC). El uso de cultivos de cobertura y la rotación de cultivos tuvo un efecto positivo sobre los rendimientos de maíz, frijol y soya. Comparados con LC, los rendimientos de trigo fueron 19 % mayores bajo NL y 6 % más altos con LM; mientras que los rendimientos de soya fueron 34 % superiores con NL y 7% mayores bajo LM.

En un ensayo conducido en Yanhuitlán, Oaxaca, en 1992, se compararon los métodos de labranza tradicional (LT) y mínima (LM), encontrándose que la densidad aparente en la capa del suelo de 0 a 10 cm fue mayor con LM al inicio del ciclo de cultivo; al final del ciclo no hubo diferencia significativa entre los dos métodos de labranza, debido a la compactación del suelo durante el ciclo de cultivo por acción de las lluvias en las parcelas de LT (Baray, 1993).

El suelo recubierto con pasto seco u otros residuos de cultivos normalmente retendrá más humedad a saturación que el mismo suelo después de barbechado y cultivado. La presencia de raíces de plantas no perturbadas y la mayor cantidad de materia orgánica en el suelo debido a las raíces de las plantas promueven la existencia de poros gruesos o abiertos en el suelo; así, el suelo retiene cantidades más grandes de humedad. La labranza tiende a destruir las raíces de las plantas y los canales dejados por las raíces podridas, y a disminuir el contenido de materia orgánica, reduciendo considerablemente la capacidad de retención de humedad del suelo (Phillips y Young, 1973).

En la región de Chiautla, Puebla, se probaron en maíz tres intensidades de labranza: tradicional, sólo surcado y labranza cero, esta última con la aplicación de tres toneladas de rastrojo de maíz ha<sup>-1</sup>. No hubo diferencia significativa en la cantidad de agua retenida en el suelo bajo los diferentes tratamientos probados. Sin embargo, se espera que la cantidad de humedad retenida aumente a medida que se incrementa el nivel de materia orgánica o cuando mejora la estructura del suelo, lo que probablemente ocurrirá en labranza cero al cabo de varios ciclos más de cultivo (Ramírez, 1982).

En 1976, en Yorkshire, Inglaterra, usando cebada de primavera en un suelo migajón arenoso, se evaluaron tres métodos de labranza: siembra directa (SD), labranza a 12.5 cm de profundidad (LM) y labranza a 20 cm de profundidad (LC), encontrándose que a los 80 días después de la siembra, la extracción de agua fue mayor en la capa de 0 a 10 cm del suelo en las parcelas de SD, comparadas con las de LM y LC; y a 20 cm de profundidad se extrajo más humedad de las parcelas con

LC en comparación con las de SD, debido a la mayor longitud total de raíces en la capa de 0 a 10 cm en parcelas con SD, mientras que a más de 10 cm de profundidad la longitud total de raíces fue superior en parcelas con LC, seguidas por las parcelas con LM (Sharma, 1985).

En Brasil, se comparó el sistema de labranza cero con el cultivo convencional en frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) bajo temporal, sobre un terreno que se había cultivado previamente con maíz, encontrándose que el sistema de labranza cero produjo 959 kg de grano ha<sup>-1</sup> contra 712 kg ha<sup>-1</sup> para el sistema convencional (Galvao *et al.*, 1981).

También en Brasil, Sidiras *et al.* (1983) realizaron mediciones de campo en un cultivo de soya (*Glycine max*), con el fin de comparar el efecto de labranza cero, labranza con arado de cincel y labranza convencional, reportando que los rendimientos promedio de los tres años que duró el estudio fueron de 2593, 2149 y 1948 kg ha<sup>-1</sup> para labranza cero, labranza con arado de cincel y labranza convencional, respectivamente.

Al evaluar labranza convencional (subsoleo, barbecho, rastreo, siembra con sembradora unitaria, encajonado), labranza mínima (rastreo, siembra con sembradora unitaria, encajonado) y labranza cero (aplicación de herbicida, sembradora especial Allis Chalmers, siembra manual con pala recta) en maíz, en cinco localidades del área de influencia de Chapingo, se encontró que con el método de labranza cero las ganancias fueron mayores debido a los menores costos de producción con respecto a los métodos de labranza mínima y convencional (Cruz, 1986).

En la región de los Valles Centrales de Oaxaca se realizaron seis experimentos en el periodo de 1988 a 1989, en los que se evaluaron dos niveles de subsoleo, más seis tratamientos de labranza a diferentes intensidades. El tratamiento de surcado + herbicida tuvo la mayor relación beneficio bruto/costos variables (de labranza y herbicidas) con 10.1 en 1988 y 12.0 en 1989; el tratamiento de barbecho + rastreo + surcado + una escarda tuvo la menor relación beneficio bruto/costo variable con 3.0 en 1988 y 3.2 en 1989 (Ruiz, 1990).

En otro estudio llevado a cabo en Yanhuitlán, Oaxaca, durante el ciclo primavera-verano de 1992, al evaluar dos métodos de labranza y tres densidades de siembra en trigo, no se detectaron efectos significativos del método de labranza ni de la densidad de siembra sobre el rendimiento de grano, por lo que el mejor tratamiento en cuanto a rentabilidad económica fue el de labranza mínima con 100 kg ha<sup>-1</sup> de semilla, de acuerdo con el

método de análisis económico del Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT), debido al menor costo por concepto de labranza en el sistema de labranza mínima comparado con el de labranza tradicional (Baray, 1993).

Se estableció en 1995 un experimento de campo en la localidad de Cruz Blanca, del municipio de Cuilapam, ubicado en la región de Valles Centrales de Oaxaca, y se plantearon los objetivos siguientes: a) evaluar los efectos del método de labranza sobre el rendimiento de grano de frijol, b) determinar el sistema de labranza más rentable económicamente con las dos variedades evaluadas y c) determinar el efecto de los métodos de labranza sobre la densidad aparente y el contenido de humedad del suelo.

### MATERIALES Y METODOS

El experimento se estableció en el terreno de un agricultor cooperante, en un suelo de textura migajón arenoso, con un contenido de materia orgánica de 0.2 %, clasificado como extremadamente pobre y un pH de 5.3, clasificado como muy ácido. El clima predominante en la región es cálido seco, con una precipitación anual que oscila entre 561 y 776 mm, distribuida durante los meses de mayo a octubre; en agosto se presenta la sequía intraestival; la temperatura media mensual varía de 18.7 °C a 21.8 °C (CAEVOAX, 1983).

Se evaluaron tres sistemas de labranza: a) tradicional, que consistió en dar un barbecho y un paso de rastra antes de la siembra, b) mínima con cubierta vegetal, en el que no se removió el suelo antes de la siembra y se aplicó maleza en fresco sobre la superficie del suelo a razón de 30 kg por unidad experimental, equivalente a 11.9 t ha<sup>-1</sup>, utilizando para ello el acahual (*Tithonia tubaeformis* Cass.), que es una de las malezas más comunes de la región, y c) mínima sin cubierta vegetal, que consistió en sembrar sin preparar previamente el suelo. También se evaluaron dos variedades: Jamapa y Criollo Delgado. En todos los casos se fertilizó con la fórmula 40-40-00 al momento de la siembra. El diseño experimental fue el de bloques completos al azar con arreglo en parcelas divididas, con cuatro repeticiones; los sistemas de labranza correspondieron a las parcelas principales y las variedades a las subparcelas. La siembra y fertilización se realizaron en surcos separados a 70 cm, con una distancia entre matas de 20 cm, colocando tres semillas por mata.

Las variables estudiadas fueron: densidad aparente del suelo, humedad del suelo, número de vainas por planta, longitud de vainas, número de semillas por vaina, peso de

100 semillas, índice de área foliar, índice de cosecha aparente y rendimiento de grano.

Se realizó el análisis de varianza para cada una de las variables estudiadas y en los casos en que hubo efectos significativos se aplicó la prueba de comparación de promedios de Tukey, así como el análisis económico mediante el método desarrollado por el CIMMYT.

### RESULTADOS Y DISCUSION

Al inicio del experimento, la densidad aparente del suelo fue menor en el tratamiento con labranza tradicional e igual en las parcelas con labranza mínima con cubierta vegetal y labranza mínima sin cubierta vegetal (Cuadro 1). Esto se debió a que la labranza primaria incrementó el espacio poroso total del suelo. Al final del ciclo la densidad aparente fue igual con los tres tratamientos de labranza, lo que indica que el suelo de las parcelas con labranza tradicional se fue compactando durante el ciclo de cultivo por el impacto de las gotas de lluvia en la superficie.

El sistema de labranza tradicional fue mejor en cuanto al rendimiento de grano respecto a LMCC, pero igual a LMCC, es decir, la cubierta vegetal tuvo un efecto similar sobre el rendimiento de grano que preparar el suelo antes de la siembra, lo cual se debe probablemente a que conserva el mismo grado de humedad con ambos sistemas de labranza y a veces mayor con el sistema de LMCC que con el de LT, pero con LT se promueve un mejor desarrollo radicular. No hay que olvidar que este suelo es extremadamente pobre en materia orgánica, mostrando problemas de compactación y, en consecuencia, de desarrollo radicular.

**Cuadro 1. Efecto del sistema de labranza sobre la densidad aparente del suelo al inicio del ciclo de cultivo y rendimiento de grano.**

Sistema de labranza	Densidad aparente	Rendimiento
		kg
LMCC	1.603 a	521 ab
LMSC	1.555 ab	400 b
LT	1.297 b	583 a

Medias con la misma letra son estadísticamente iguales (Tukey,  $\alpha=0.05$ ).

LMCC = Labranza mínima con cubierta vegetal.

LMSC = Labranza mínima sin cubierta vegetal.

LT = Labranza tradicional.

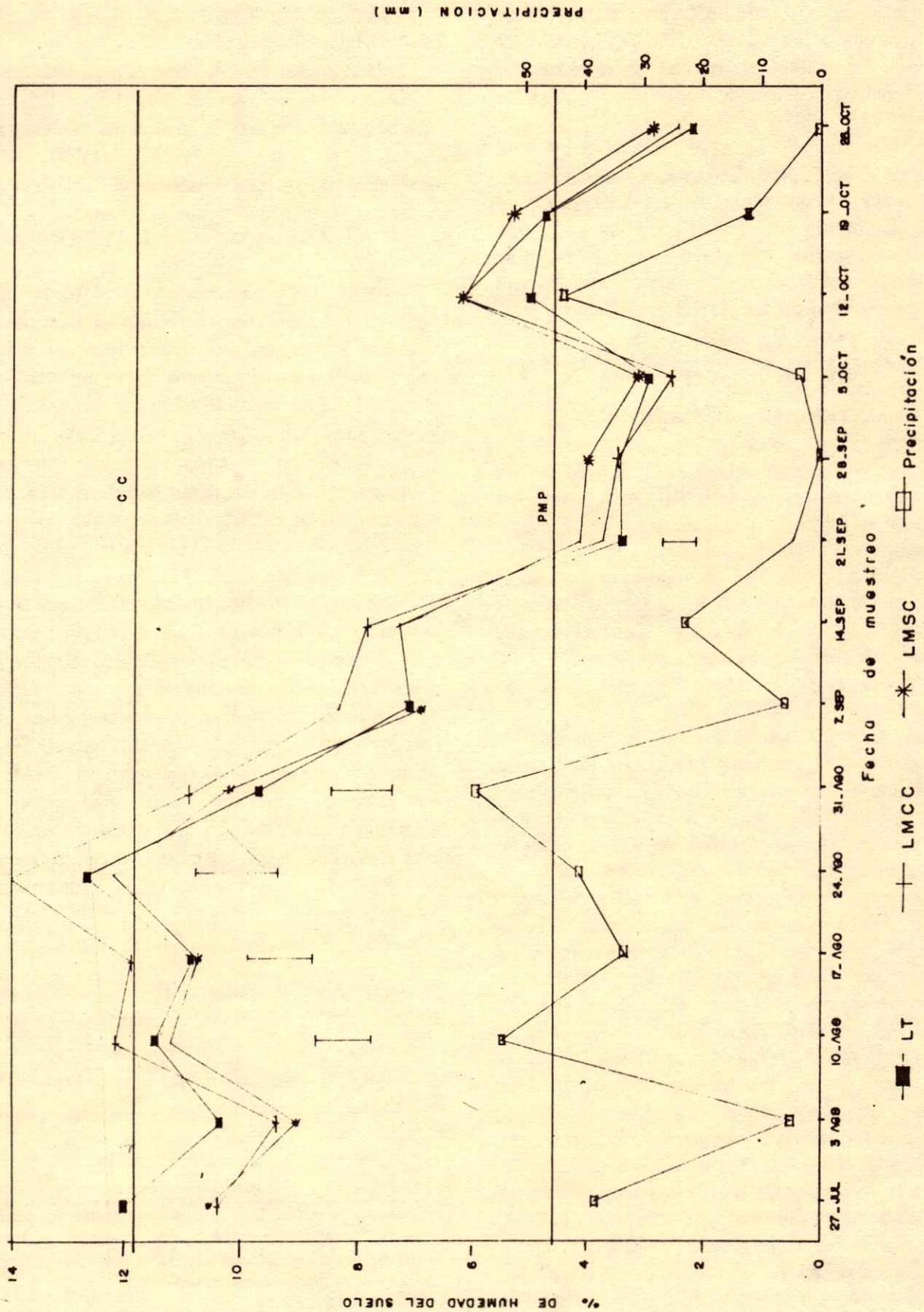


Figura 1. Efecto del sistema de labranza sobre el porcentaje de humedad del suelo y diferencia significativa (Tukey  $p < 0.05$ ).

Estos resultados difieren de los obtenidos por Derpsch *et al.* (1986); Galvao *et al.* (1981) y Sidiras *et al.* (1983), quienes bajo condiciones de mayor contenido de humedad en el suelo y al cabo de tres ciclos de cultivo, observaron mayor rendimiento con labranza mínima y cubierta vegetal que con labranza tradicional.

En las fechas muestreadas, principalmente durante el desarrollo vegetativo, existió una tendencia estadísticamente significativa de mayor contenido de humedad en el suelo con el sistema de LMCC, respecto a los sistemas sin cubierta vegetal probados (Figura 1), debido probablemente a la mayor conservación de humedad por efecto de la cubierta vegetal; sin embargo, esta diferencia no fue contundente debido a que las condiciones climatológicas fueron algo limitantes en cuanto a la cantidad de precipitación; es decir, bajo lluvias de poca magnitud la cubierta vegetal puede actuar como barrera que impide la absorción del agua en el suelo. Esto concuerda con lo mostrado en la Figura 1, donde el 10 y 31 de agosto, cuando se tuvieron altas precipitaciones, se observó un mayor contenido de humedad en LMCC. En contraste, a los 56 días después de la siembra, en la etapa de llenado de vaina y grano, se observó mayor humedad en el tratamiento de LMCC que en LMSC, pues las lluvias fueron menores en esa etapa. Este resultado concuerda con lo indicado por Sharma (1985).

En la Figura 1 se puede apreciar que del 21 de septiembre al 5 de octubre, es decir, durante toda la etapa de llenado de vaina y de grano, la humedad del suelo estuvo por abajo del punto de marchitez permanente, lo que afectó negativamente al rendimiento de grano en los tres sistemas de labranza y en las dos variedades que se evaluaron.

La variedad Criolla Regional tuvo un mayor rendimiento que la variedad Jamapa (Cuadro 2), debido a que su número de vainas por planta fue 50 % mayor, mientras que el número de semillas por vaina y el peso por semilla fueron mayores en la variedad mejorada, pero sólo en 14 y 18 %, respectivamente. Las condiciones

Cuadro 2. Efecto de la variedad de frijol sobre el rendimiento ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) y sus componentes.

Variedad empleada	Rendimiento $\text{kg ha}^{-1}$	Vainas/ planta	Semillas/ vaina	Peso/ semilla g
Criollo	560.8 a	10.8 a	4.77 b	0.15 b
Jamapa	441.0 b	7.2 b	5.44 a	0.18 a

Medias con la misma letra son estadísticamente iguales (Tukey,  $\alpha=0.05$ )

climatológicas fueron adversas para el desarrollo óptimo del cultivo, principalmente por las lluvias escasas, sobre todo en la etapa de llenado de vaina y grano que ocurrió del 21 de septiembre al 5 de octubre (Figura 1), lo que indica que la variedad criolla está mejor adaptada a tales limitantes.

Según el análisis de varianza hubo efecto significativo del sistema de labranza y de la variedad sobre el rendimiento de grano, por lo que se procedió a realizar el análisis económico mediante el método del CIMMYT para resultados experimentales. En el Cuadro 3 se muestra el presupuesto parcial de cada tratamiento y en el Cuadro 4 se presenta el análisis de dominancia.

Las tasas marginales de retorno de los tratamientos no dominados fueron las siguientes:

$$\text{TMR}_{4.2} = (966.69 - 924.45) \div (412.20 - 252.20) = 42.24 \div 160.00 = 0.264 = 26.4 \%$$

$$\text{TMR}_{6.4} = (924.45 - 870.57) \div (252.20 - 102.20) = 53.88 \div 150.00 = 0.35 = 35 \%$$

$$\text{TMR}_{6.2} = (966.69 - 870.57) \div (412.20 - 102.20) = 96.12 \div 310.00 = 0.31 = 31 \%$$

#### Tasa mínima de retorno (TAMIR):

$$\text{TAMIR} = \text{TL} + \text{R} = (53 \%/2) + (40 \%/2) = 26.5 \% + 20 \% = 46.5 \%$$

donde TL = Tasa de interés anual de los certificados de la tesorería de la federación. R = Riesgo del cultivo bajo temporal.

Tanto TL como R se dividen entre dos porque se considera un período de seis meses para la producción de frijol desde la preparación del suelo hasta la venta del producto.

La TMR debe ser mayor que la TAMIR para que se justifique la utilización de un tratamiento en comparación con otros. En este caso, las TMR de los tres tratamientos no dominados son menores que la TAMIR, por lo tanto, se recomienda utilizar el tratamiento de menor costo variable, que es el de LMCC-C. Sin embargo, a largo plazo (después de varios ciclos de cultivo) es de esperarse que bajo el sistema de LMCC mejoren algunas propiedades físicas del suelo, tales como la densidad aparente, la estructura y la capacidad de retención de humedad del suelo, así como el contenido de materia orgánica (Phillips y Young, 1973; Ramírez, 1982), lo cual podría resultar en una mayor rentabilidad económica de LMCC.

**Cuadro 3. Presupuesto parcial para cada tratamiento evaluado en el experimento.**

Concepto	Tratamiento					
	LT-J	LT-C	LMCC-J	LMCC-C	LMSC-J	LMSC-C
Rendimiento (kg ha <sup>-1</sup> )	507.70	657.50	480.20	561.10	335.20	463.90
Rendimiento ajustado (10 %, kg ha <sup>-1</sup> )	456.90	591.80	432.20	505.00	301.7	417.50
Beneficio bruto de campo (N\$ ha <sup>-1</sup> )†	1064.58	1378.89	1007.02	1176.65	702.96	972.77
Costo de semilla (N\$ ha <sup>-1</sup> )	264.60	102.20	264.60	102.20	264.60	102.20
Costo de preparación del suelo:						
Barbecho (N\$ ha <sup>-1</sup> )	180.00	180.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Rastro (N\$ ha <sup>-1</sup> )	130.00	130.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Costo de cubierta vegetal (N\$ ha <sup>-1</sup> )						
Mano de obra corte de maleza	0.00	0.00	150.00	150.00	0.00	0.00
Costos que varían (N\$ ha <sup>-1</sup> )	574.60	412.20	414.60	252.20	264.60	102.20
Beneficios netos (N\$ ha <sup>-1</sup> )	489.98	966.69	592.42	924.45	438.36	870.57

† Beneficio bruto de campo = Rendimiento ajustado x precio de campo.

LT = Labranza tradicional LMCC = Labranza mínima con cubierta vegetal. LMSC = Labranza mínima sin cubierta vegetal.

C = Criollo. J = Jamapa.

**Cuadro 4. Análisis de dominancia de tratamientos evaluados.**

Tratamiento	Beneficio neto	Costo variable	Tratamientos		TMR
			Labranza	Variedad	
	----- N\$ ha <sup>-1</sup> -----	-----			%
2	966.69	412.20	LT	C	26
4	924.45	252.20	LMCC	C	35
6	870.57	102.20	LMSC	C	
3	592.42	414.60	LMCC	J†	
1	489.98	574.60	LT	J†	
5	438.36	264.60	LMSC	J†	

† Tratamientos dominados: tienen un costo variable mayor que el del tratamiento inmediato superior no dominado.

LMCC = Labranza mínima con cubierta vegetal. LMSC = Labranza mínima sin cubierta vegetal. LT = Labranza tradicional.

C = Criollo. J = Jamapa.

Con el propósito de recabar una mayor información acerca de los sistemas de labranza en el cultivo de frijol en la región de Valles Centrales de Oaxaca, y así poder llegar a resultados más concluyentes, se sugiere realizar más experimentos en diferentes sitios en cuanto a tipos de suelo y cantidad de lluvia recibida, con el fin de tener mayor representatividad en cuanto a tipos de suelo y clima. Asimismo, es deseable que en cada sitio experimental se lleven a cabo los ensayos durante tres ciclos de cultivo para poder captar información en cuanto al efecto de los sistemas de labranza sobre las propiedades físicas del suelo, tales como el contenido de materia orgánica, la densidad aparente, la estructura del suelo y la capacidad de retención de humedad del suelo.

## CONCLUSIONES

1. En el corto plazo, el sistema de labranza tradicional tuvo el mismo efecto que el sistema de labranza mínima con cubierta vegetal sobre el rendimiento de grano.
2. La deficiencia de humedad en la etapa crítica de llenado de grano afectó más a la variedad Jamapa que a la Criolla Regional en cuanto al rendimiento de grano.
3. Económicamente el mejor tratamiento fue el de labranza mínima sin cubierta vegetal, sembrado la variedad criolla regional "Negro Delgado".

## LITERATURA CITADA

- Baray T., M. 1993. Labranza tradicional contra labranza mínima, con tres densidades de siembra, en trigo (*Triticum aestivum* L.) en Yanhuatlán, Oaxaca. Tesis Profesional, Departamento de Fitotecnia, Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, Méx.
- CAEVOAX. Campo Agrícola Experimental Valles Centrales de Oaxaca. 1983. Guía para la asistencia técnica agrícola, área de influencia del Campo Agrícola Experimental Valles Centrales de Oaxaca. SARH. INIA. CIAPAS. México.
- Cruz G., J. 1986. Estudio de tres métodos de labranza (convencional, mínima y cero) en siete asociaciones de suelos en el área de influencia de Chapingo. Tesis Profesional, Departamento de Suelos, Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, Méx.
- Derpsch, R., N. Sidiras y C. H. Roth. 1986. Results of studies made from 1977 to 1984 to control erosion by cover crops and no-tillage techniques in Parana, Brazil. *Soil and Tillage Research (Netherlands)* 8: 253-263.
- Galvao, J. D., J. J. V. Rodrigues y C. Purissimo. 1981. Zero tillage and conventional planting during the dry season in Vicosa, Minas Gerais. *Revista Ceres (Brazil)* 28(158): 412-416.

- Phillips, S. H. y H. M. Young Jr. 1973. No-tillage farming. Reiman Associates. Milwaukee, Wisconsin. USA.
- Ramírez R., J. 1982. Efecto de diferentes métodos de labranza y dosis de nitrógeno sobre el rendimiento de maíz en la región de Chiautla, Puebla. Tesis de Maestría en Ciencias de la especialidad de suelos, Colegio de Postgraduados. Chapingo, Méx.
- Ruiz V., J. 1990. Efecto del subsoleo y diferentes intensidades de labranza en maíz de temporal. Memoria de investigación 1970-1990. XX aniversario del CAEVOAX. INIFAP. CIFAQ. CAEVOAX. Campo Agrícola Experimental Valles Centrales de Oaxaca. Santo Domingo Barrio Bajo. Etla, Oax.
- Ruiz V., J. 1994. Pigeon peas (*Cajanus cajan*): An alternate crop to dry beans under drought and insect pest hazards. Resúmenes del XV Congreso Mundial de la Ciencia del Suelo. Acapulco, Mex., Julio 10-16 de 1994. Vol. 7b: 181-182.
- Sharma, R. B. 1985. Plant-water relations, crop growth and grain yield of spring barley in relation to tillage methods. Soil and Tillage Research 6: 111-121.
- Sidiras, N., R. Derpsch, y A. Mondardo. 1983. Influence of three different tillage systems on the soil water content and yield of soy bean on dystrophic dusky red latosol (oxisol). Revista Brasileira de Ciencia do Solo (Brazil) 7: 103-106.

# ASOCIACION MAIZ-GANDUL EN LOS VALLES CENTRALES DE OAXACA

## Maize-Pigeon Pea Association in the Central Valleys of Oaxaca

Héctor A. Graham Araiza<sup>1</sup> y Jaime Ruiz Vega<sup>2</sup>

### RESUMEN

### SUMMARY

Con los objetivos de evaluar la factibilidad técnica y económica de sembrar gandul (*Cajanus cajan*) asociado con maíz (*Zea mays* L.), su producción de proteína y la eficiencia relativa en el uso de la tierra, en 1990 se estableció un experimento de campo. Los factores en estudio fueron dos variedades de gandul sembradas en tres densidades y con dos densidades de población de maíz. Se incluyeron tratamientos adicionales de frijol (*Phaseolus vulgaris*) asociado con maíz y los monocultivos de las especies evaluadas. Los resultados experimentales fueron: (1) Los mayores rendimientos de grano de maíz y semilla de gandul se obtuvieron con la densidad de maíz de 40 mil plantas ha<sup>-1</sup> y con la variedad de gandul ICPL138 a una densidad de 130 mil plantas ha<sup>-1</sup>. (2) El rendimiento del maíz en asociación fue influenciado en forma altamente significativa ( $p < 0.01$ ) por el factor densidad de maíz, mientras que la interacción triple de los factores evaluados fue significativa ( $p < 0.05$ ). (3) El rendimiento de gandul en asociación fue afectado en forma altamente significativa tanto por la variedad de gandul como por la densidad de maíz, sin efectos significativos por densidad de gandul. (4) La mayor eficiencia en el uso de la tierra se obtuvo sembrando la variedad ICPL138 a 130 000 plantas ha<sup>-1</sup>, asociada con 40 000 plantas ha<sup>-1</sup> de maíz. (5) La producción de proteína del gandul asociado con maíz fue 37 % más alta que la del frijol asociado con la misma gramínea. Se concluye que la asociación maíz-gandul tiene ventajas sobre la asociación maíz-frijol en regiones tropicales con limitaciones por plagas y sequía intraestival.

**Palabras clave:** Agricultura sostenible, asociación maíz-frijol, eficiencia relativa de la tierra.

<sup>1</sup> ITA No. 31, 5a. Calle Norte Pte., 30069 Comitán, Chiapas, México.

<sup>2</sup> CIIDIR-IPN-Oaxaca, Apartado Postal 1169, 68000 Oaxaca, Oax., México.

Aceptado: Enero de 1996.

In order to evaluate the technical and economical feasibility of the maize-pigeon pea (*Zea mays* L.-*Cajanus cajan*) intercropping from the stand point of land use efficiency and protein production, a field experiment was established in 1990. The factors under study were pigeon pea varieties and sowing densities of pigeon pea and corn. Additional treatments were included to evaluate the dry bean (*Phaseolus vulgaris*)-corn intercropping and the monocrops of each species. The experimental results showed that: (1) The highest seed yields under intercropping were attained with 40 000 plants of corn ha<sup>-1</sup> and 130 000 plants of the ICPL138 pigeon pea variety. (2) Intercropped corn yields were significantly affected by corn densities, and the three order interaction was also significant. (3) Intercropped pigeon pea yields were significantly affected ( $p < 0.01$ ) by both pigeon pea varieties and corn densities. (4) The largest land equivalent ratio was reached when the pigeon pea variety ICPL138 was intercropped at 130 000 plants ha<sup>-1</sup>, with 40 000 plants ha<sup>-1</sup>, of corn. (5) The amount of protein produced by the pigeon pea intercrop was 37 % higher than that produced by the dry bean intercrop. It was concluded that the maize-pigeon pea intercropping has advantages over the dry bean-corn intercropping in tropical regions limited by insect pests and mid-summer drought.

**Index words:** Sustainable agriculture, maize-beans intercropping, land equivalent ratio (LER).

### INTRODUCCION

La proteína de origen vegetal es un constituyente importante en la dieta de la población rural de los mexicanos, siendo el frijol la fuente principal. En México, es común que se practique la asociación de maíz con frijol, especialmente en zonas de agricultura tradicional (Lépiz, 1978). Una encuesta realizada por PRONDAAT (1976) indicó que 97 % de los predios de los Valles Centrales de Oaxaca se sembraban con

maíz, pero sólo 19 % se sembraban con maíz en monocultivo. Las principales asociaciones encontradas fueron: 33 % de maíz-frijol-calabaza (*Cucurbita pepo*), 20 % de maíz-frijol de mata, 12 % de maíz-calabaza y 10 % de maíz-higuerilla (*Ricinus communis*)-frijol-calabaza. Datos de la SARH (1990) indican que 71 % del maíz se siembra como monocultivo en la región, pero resultados preliminares de un sondeo realizado en los Valles Centrales de Oaxaca, señalan que las asociaciones siguen predominando, sobre todo en las áreas de temporal (López *et al.*, 1992).

En los Valles Centrales de Oaxaca la principal fuente de proteínas en el medio rural es el frijol. Esta es una zona de agricultura tradicional, caracterizada por el minifundio y la escasez de capital. Los principales problemas ambientales son la sequía y la presencia de plagas. Se considera que la sequía limita más los rendimientos de maíz, mientras que las plagas y la sequía afectan al frijol en ese orden de magnitud. (Ruiz, 1991). La región se ubica entre los 16 a 17° N de latitud, a una altitud promedio de 1550 m y con temperatura y precipitación media anuales de 22 °C y 600 milímetros. Con frecuencia se tiene un periodo de sequía intraestival que puede durar desde mediados de julio hasta principios de septiembre, coincidiendo con la floración del maíz. La asociación de dos surcos de frijol por un surco de maíz ha mostrado ser redituable y más estable que el maíz en monocultivo en condiciones de temporal (Ruiz, 1987).

El gandul es originario de India (Kay, 1979), donde se obtiene 90 % de la producción mundial y rendimientos promedio de 730 kg ha<sup>-1</sup> (ICRISAT, 1989). En el continente americano los principales productores son República Dominicana, Haití, Panamá y Puerto Rico.

El cultivo se adapta a ambientes tropicales y subtropicales; se considera que la temperatura óptima para su crecimiento se ubica entre 30 y 35 °C, y mínima cardinal de 15 °C. No tolera heladas en ninguna etapa de su desarrollo (Duke, 1978). Utilizando una temperatura base de 15 °C, se determinó que la variedad de gandul ICPL-161 requería de 500 unidades calor para alcanzar la floración en los Valles Centrales de Oaxaca. El requerimiento para completar el ciclo fue de 825 unidades calor (Ruiz, 1990). El rango de precipitación

óptima se ubica entre 600 y 1000 mm anuales, con un mínimo de 380 mm. Se obtienen mejores rendimientos cuando se tiene buena precipitación durante la etapa vegetativa y periodos secos durante la floración y la madurez (Akinola y Whiteman, 1975). El gandul responde al fotoperiodo, ya que las plantas desarrolladas bajo días más largos son grandes y producen mayores rendimientos que las que crecen bajo fotoperiodos más cortos (Isawara, 1976). Para rendimientos óptimos de semilla se requiere de insolación abundante, ya que la nubosidad excesiva o el sombreado resultan en un desarrollo vegetativo deficiente y baja producción de semilla.

El gandul se puede consumir en verde, como semilla o como forraje. En el Caribe es común consumirlo antes de la madurez fisiológica (Lorens *et al.*, 1956), mientras que en India y Africa se consume la semilla madura y descascarada en sopas y purés (Kay, 1979). El forraje verde de gandul tiene un promedio de 70.5 % de humedad, 7.1 % de proteína cruda, 1.6 % de grasas y 10.7 % de fibra cruda (Kay, 1979). Una hectárea puede tener una capacidad de pastoreo de hasta 3.6 cabezas, con ganancias en peso diarias de hasta 1.25 kg por cabeza (Krauss, 1932).

La evaluación de variedades de gandul en los Valles Centrales ha permitido identificar aquellas que se adaptan a las condiciones locales, las cuales, además de mostrar tolerancia a plagas del follaje como chicharrita (*Empoasca* spp.) y conchuela (*Epilachna varivestis*), son resistentes a la sequía y son similares al frijol en cuanto a sabor y modo de preparación (Ruiz, 1990).

En la región de los Valles Centrales de Oaxaca, las variedades de gandul más adaptadas son la ICPL-161 y la ICPL-138, las que en monocultivo producen en promedio 850 y 900 kg ha<sup>-1</sup> de semilla. El ciclo de estas variedades es de 150 y 180 días desde la siembra a la madurez, lo cual corresponde, respectivamente, a 825 y 960 unidades calor con temperatura base de 15 °C. Las densidades de siembra óptimas para monocultivo son cercanas a 135 000 plantas ha<sup>-1</sup> (Ruiz, 1991).

Con los objetivos de evaluar la factibilidad técnica de sembrar gandul asociado con maíz, los aspectos económicos de la asociación maíz-gandul y la eficiencia del gandul como productor de proteína con relación a frijol, se realizó el presente estudio.

## MATERIALES Y METODOS

En 1990 se estableció en los terrenos del ITA No. 23, ubicado en Nazareno Xoxocotlán, Oaxaca, un experimento para evaluar los tratamientos generados por la combinación de los factores variedades de gandul (ICPL-161 y ICPL-138), densidades de siembra de gandul (50 mil, 90 mil y 130 mil plantas ha<sup>-1</sup>), y densidad de siembra de maíz (30 mil y 40 mil plantas ha<sup>-1</sup>), más ocho tratamientos adicionales (Cuadro 1). Los 12 tratamientos generados por el factorial se sembraron en asociación, es decir, cada surco llevó maíz y gandul. También los Tratamientos 15 y 16 se sembraron de esta manera. En el Tratamiento 13 se alternó un surco de maíz y uno de gandul, mientras que en el 14 y el 17 se alternaron dos surcos de leguminosa por cada surco de maíz. Los Tratamientos 18, 19 y 20 fueron los monocultivos de frijol, maíz y gandul, respectivamente. Los materiales de maíz y frijol fueron los criollos regionales, los cuales están bien caracterizados y se pueden conseguir fácilmente por el productor. Se utilizó un diseño experimental de bloques al azar con cuatro repeticiones. El tamaño de la parcela experimental útil fue de 4.5 m<sup>2</sup>.

Cuadro 1. Tratamientos experimentales evaluados. Nazareno, Xoxocotlán, Oaxaca, 1990.

Trata- miento	Variedades			Densidades		
	Gandul	Frijol	Maíz	Gandul	Frijol	Maíz
				miles ha <sup>-1</sup>		
1	ICPL161	-	Bolita	50	-	30
2	ICPL161	-	Bolita	50	-	40
3	ICPL161	-	Bolita	90	-	30
4	ICPL161	-	Bolita	90	-	40
5	ICPL161	-	Bolita	130	-	30
6	ICPL161	-	Bolita	130	-	40
7	ICPL138	-	Bolita	50	-	30
8	ICPL138	-	Bolita	50	-	40
9	ICPL138	-	Bolita	90	-	30
10	ICPL138	-	Bolita	90	-	40
11	ICPL138	-	Bolita	130	-	30
12	ICPL138	-	Bolita	130	-	40
13	ICPL161	-	Bolita	50	-	30
14	ICPL161	-	Bolita	90	-	20
15	ICPL161	-	Bolita	90	-	20
16	-	Delgado	Bolita	-	50	40
17	-	Delgado	Bolita	-	90	20
18	-	Delgado	-	-	130	-
19	-	-	Bolita	-	-	40
20	ICPL161	-	-	90	-	-

El suelo del sitio experimental es de textura migajón arenosa, profundo y de baja fertilidad; el experimento se sembró el 14 de junio de 1990. Se fertilizó con la fórmula 60-40-00, aplicando un tercio del nitrógeno y todo el fósforo en el momento de la siembra y el resto del nitrógeno en la primera labor.

Durante el desarrollo del experimento se registraron las siguientes variables: altura de la planta, días a floración, días a madurez fisiológica, precipitación, temperatura y humedad del suelo. En el momento de la cosecha, se evaluaron el peso de 100 semillas, número de vainas y mazorcas por planta, número de semillas por vaina, y los rendimientos de grano y forraje. Se estimó la eficiencia relativa de la tierra como:  $ERT = E X_i/Y_i$ , donde  $X_i$  es el rendimiento del cultivo  $i$  en asociación y  $Y_i$  es el rendimiento del mismo cultivo en monocultivo. Se realizaron análisis de varianza para rendimientos y eficiencia relativa de uso de la tierra y comparaciones de medias de acuerdo con Tukey. También se realizó un análisis bromatológico de las leguminosas a fin de determinar su contenido proteínico y realizar comparaciones con esta variable.

## RESULTADOS Y DISCUSION

Durante el desarrollo del gandul se tuvieron temperaturas máximas y mínimas promedio de 29.6 y 14.9 °C, respectivamente, lo cual indica que se tuvieron condiciones de temperatura cercanas a la normal. En cuanto a precipitación, se recibieron 412 mm de junio a diciembre, lo cual estuvo 20 % abajo de lo normal. Sin embargo, en agosto y septiembre las cantidades recibidas estuvieron 50 % abajo de lo normal.

La fenología de los materiales evaluados se presenta en el Cuadro 2, donde destaca por su precocidad el frijol Delgado, mientras que el gandul ICPL138 fue el más tardío. La importancia de estas diferencias en ciclos de desarrollo se verá posteriormente. Aun el cultivar más tardío puede completar su ciclo de desarrollo en el periodo libre de heladas de la región, el cual comprende de principios de marzo a mediados de diciembre.

En general el maíz y particularmente el frijol mostraron poca respuesta en rendimiento de grano a los cambios de densidad. Tampoco los rendimientos de éstos como monocultivos fueron muy diferentes de los

**Cuadro 2. Fenología de los genotipos evaluados. Nazareno, Xoxocotlán, Oaxaca. 1990.**

Genotipos	Días de la siembra a	
	floración	madurez fisiológica
Maíz Bolita	67	128
Frijol Delgado	45	76
Gandul ICPL161	75	146
Gandul ICPL138	95	174

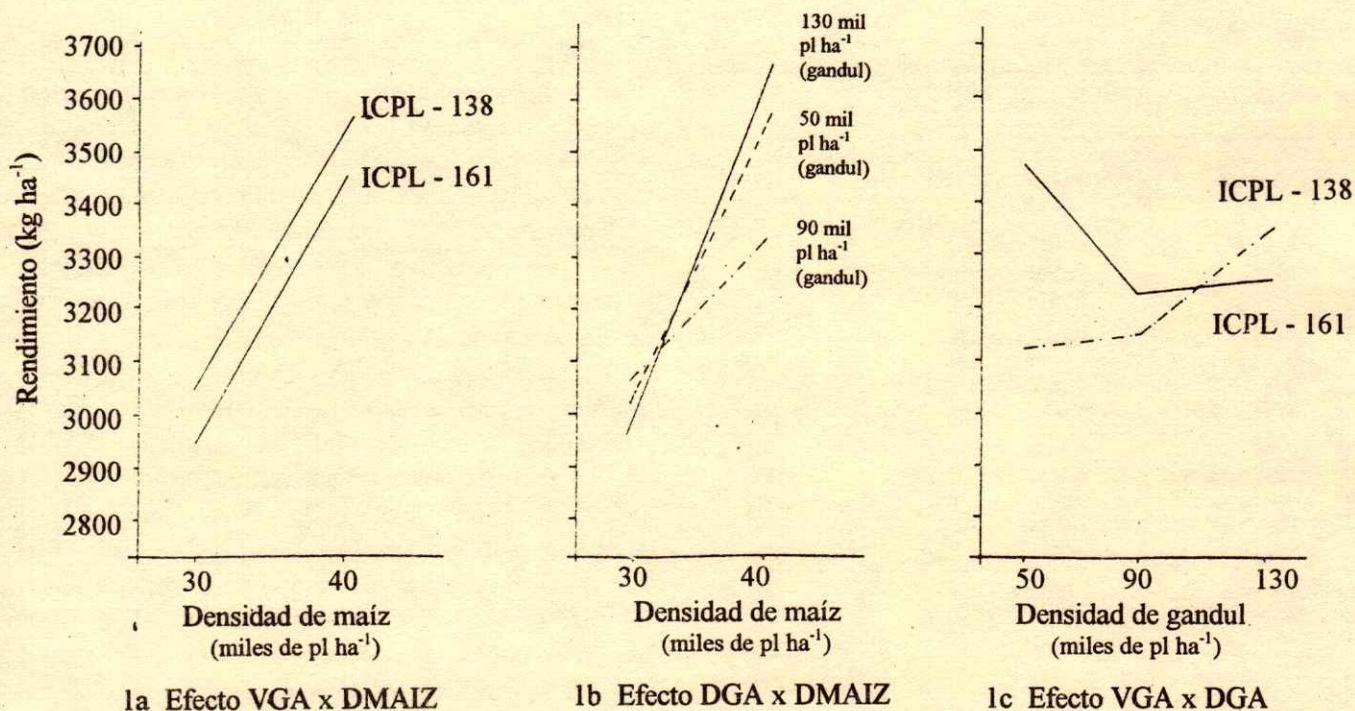
obtenidos bajo asociación, mientras que en el gandul se observó un incremento de más de 300 % cuando se sembró en monocultivo.

Analizando estadísticamente el arreglo de tratamientos del factorial, se encontró que para rendimiento de maíz en asociación con gandul, los factores densidad de siembra de maíz (DMAIZ) y la interacción DMAIZ x variedad de gandul x densidad de gandul, tuvieron efectos significativos a los niveles de 0.01 y 0.05 de probabilidad, respectivamente. En la Figura 1 se desglosa esta interacción triple.

El maíz sembrado a 40 mil plantas  $ha^{-1}$  superó estadísticamente en 511  $kg\ ha^{-1}$  al sembrado a 30 mil plantas  $ha^{-1}$ , sin efectos significativos en el rendimiento del maíz al asociarlo a ambas densidades con cualquiera de las variedades de gandul (Figura 1a).

El rendimiento del maíz no se vio afectado por la densidad de siembra del gandul (DGA) al sembrarse en cualquiera de las dos densidades evaluadas (Figura 1b). Sin embargo, al separar las dos variedades de gandul para analizar el efecto de la interacción VGA x DGA (variedad de gandul x densidad de gandul), se tiene que el incremento de densidad en la variedad más precoz de gandul (ICPL161) se asoció con descensos en el rendimiento del maíz, mientras que con la variedad tardía (ICPL138) se tiene una situación inversa (Figura 1c).

Este comportamiento se puede explicar con base en la coincidencia de etapas críticas entre el maíz y las variedades de gandul. En la madurez fisiológica del maíz la variedad ICPL138 se encontraba en llenado de semilla, mientras que la variedad ICPL161 se encontraba en floración cuando el maíz estaba en llenado de grano. En general, la biomasa producida por la variedad más precoz de gandul fue 43 % menor con relación a la biomasa producida por la variedad más tardía, por lo que se descarta la posibilidad de que la disminución en rendimiento de maíz observado al asociarlo con la primera se deba a competencia por luz.



**Figura 1. Representación gráfica del efecto de la interacción triple variedad de gandul (VGA) x densidad de gandul (DGA) x densidad de maíz (DMAIZ) sobre el rendimiento de maíz.**

En cuanto a rendimientos del gandul asociado con maíz, se encontró que existieron efectos altamente significativos, tanto para variedades de gandul como para densidades de maíz.

La variedad de gandul ICPL138 superó, en promedio, en 68 % el rendimiento de grano de la variedad ICPL161 en asociación con maíz, lo cual se explica con base en su ciclo de desarrollo mayor y en que la mayor parte de la etapa de llenado de grano la realizó en condiciones de monocultivo, ya que el maíz se rozó poco después de madurez fisiológica. El gandul sembrado con 30 mil plantas de maíz ha<sup>-1</sup> produjo un rendimiento 31 % mayor que el observado con 40 mil plantas ha<sup>-1</sup> de maíz. Bajo la condición de menor densidad de siembra se espera un menor índice de área foliar, lo cual permitió una mayor intensidad luminosa en los estratos inferiores del dosel. De acuerdo con Akinola y Whiteman (1975), el gandul produce mayores rendimientos con insolación abundante.

La eficiencia relativa de la tierra (ERT) para cada uno de los tratamientos evaluados y para rendimientos de grano y forraje se presentan en el Cuadro 3. El tratamiento con mayor ERT, tanto para rendimiento de grano como para forraje, fue el 12, en el cual se sembró la variedad de gandul ICPL138 con una densidad de siembra de 130 mil plantas ha<sup>-1</sup> y con 40 mil plantas de maíz. Las menores ERT se observaron con los monocultivos y el tratamiento de asociación de dos surcos de gandul por uno de maíz en surcos alternos (Tratamiento 13). En cambio, el frijol en este mismo arreglo (Tratamiento 17) mostró una ERT estadísticamente igual a la del Tratamiento 12, y similar a la del tratamiento testigo, en el cual se siembra el frijol entre las matas del maíz (Tratamiento 16). Lo anterior indica que las dos especies de leguminosas se comportan en forma diferente al asociarse con el maíz en el arreglo de dos surcos de gandul o frijol por uno de maíz.

En el análisis bromatológico el gandul mostró contenidos de proteína ligeramente menores que los del frijol, pero el contenido de fibra fue ligeramente mayor en gandul (Cuadro 4). El análisis de los costos y beneficios del tratamiento más sobresaliente de maíz-gandul (Tratamiento 12) y el tratamiento testigo de maíz-frijol (Tratamiento 16), mostró que el maíz asociado con gandul produjo un beneficio neto superior en 70 % al obtenido con el maíz asociado con frijol. Por el lado de costos de producción, esta ventaja proviene de un menor gasto en control de plagas, el

**Cuadro 3. Eficiencia relativa de la tierra (ERT) para los tratamientos evaluados.**

Tratamiento	Grano	Forraje
1	1.08 bcd*	0.92 cd
2	1.35 abc	1.44 ab
3	1.17 abcd	1.00 bcd
4	1.22 abcd	1.05 bcd
5	1.14 abcd	1.09 abcd
6	1.21 abcd	1.16 abcd
7	1.27 abcd	1.13 abcd
8	1.22 abcd	1.07 bcd
9	1.39 ab	1.28 abc
10	1.22 abcd	1.25 abcd
11	1.21 abcd	1.34 abc
12	1.54 a	1.59 a
13	0.86 d	1.33 abc
14	1.12 abcd	1.23 abcd
15	0.93 cd	0.77 d
16	1.35 abc	1.33 abc
17	1.37 abc	1.32 abc
18	1.00 bcd	1.00 bcd
19	1.00 bcd	1.00 bcd
20	1.00 bcd	1.00 bcd

\*a, b, c y d agrupan valores estadísticamente iguales en cada columna (Tukey  $\alpha = 0.05$ ).

**Cuadro 4. Composición bromatológica (%) del grano de dos variedades de gandul y una de frijol criollo.**

Compuesto	Variedades de gandul		Frijol criollo
	ICPL161	ICPL138	
Agua	9.72	9.50	6.44
Minerales	3.07	3.31	3.86
Proteínas	19.53	19.09	22.46
Fibra cruda	7.18	7.80	4.75
Grasas	1.22	0.94	1.02
Carbohidratos	59.28	59.36	61.47

cual representó 4 % del total en gandul asociado y 13 % en frijol asociado. Debido a que no existe comercialización de gandul en la región, se compararon las leguminosas con base en su producción de proteínas ha<sup>-1</sup>. El gandul en asociación superó al frijol asociado en 37 % (Cuadro 5). Sin embargo, si se considera que el frijol requirió de solo 76 días para completar su ciclo y que el gandul requirió 174 días, la eficiencia del frijol por día es superior en 65 % a la eficiencia del gandul (0.81 kg ha<sup>-1</sup> día<sup>-1</sup> y 0.49 kg ha<sup>-1</sup> día<sup>-1</sup>, respectivamente).

La ventaja del gandul como mayor productor total de proteína, así como su eficiencia por día se incrementa al comparar los rendimientos de grano de los unicultivos de ambas especies, ya que la producción de proteína es mayor en 109 % y los costos

**Cuadro 5. Costos de producción y beneficios de las asociaciones evaluadas.**

Asociación de cultivos	Valor del maíz	Beneficio neto del maíz	Proteína
	-----	\$ ha <sup>-1</sup> -----	kg ha <sup>-1</sup>
Maíz-gandul	3026037	1516537	84.9
Maíz frijol	2566530	892030	62.0

**Cuadro 6. Costos de producción, producción de proteína y costos ha<sup>-1</sup> por kg de proteína bajo unicultivo.**

Cultivo	Costos de producción	Proteína	Costo por kg de proteína
	\$ ha <sup>-1</sup>	kg ha <sup>-1</sup>	
Gandul	1076.40	260.3	4.13
Frijol	1454.15	124.4	11.68

de producción por kg son 35 % de los de frijol (Cuadro 6). La eficiencia diaria de producción de proteína es similar para gandul y frijol en monocultivo (1.50 kg ha<sup>-1</sup> día<sup>-1</sup> y 1.63 kg ha<sup>-1</sup> día<sup>-1</sup>, respectivamente).

## CONCLUSIONES

1. La asociación maíz-gandul es una buena alternativa para la producción de proteína y maíz en los Valles Centrales de Oaxaca y en zonas tropicales con temperatura media anual de 22 °C o más, y precipitación media anual de al menos 500 milímetros.
2. La mayor eficiencia en el uso de la tierra de la asociación maíz-gandul con relación a la asociación maíz-frijol es debida, principalmente, a las diferencias en desarrollo fenológico de los cultivos.
3. La mayor eficiencia en el uso de la tierra obtenida con los cultivos asociados indica que debe impulsarse a nivel regional esta línea de investigación, ya que la disponibilidad de tierra per cápita es baja en los Valles Centrales de Oaxaca.

## RECONOCIMIENTO

Se reconocen las sugerencias del Dr. Marcos Portillo Velázquez en la metodología de análisis de rendimientos.

## LITERATURA CITADA

- Akinola, J. O. y P.C. Whiteman. 1975 Agronomic studies on pigeon pea (*Cajanus cajan*). I: Field responses to sowing density. Aust. J. Agric. Res. 26: 43-45.
- Duke, J. A. 1978. The quest for tolerant germplasm. pp. 1-61. In: G. A. Jung (ed). Crop tolerance to sub-optimal land conditions. ASA Special publication 32. Madison, Wisconsin.
- ICRISAT (International Crops Research Institute for the Semi Arid Tropics). 1989. Annual report of the International Crops Research Institute for the Semi Arid Tropics. Patancheru, India.
- Iswara, V. 1976. Photoperiodic study on pigeon pea. Farm Manag. Agric. 7: 13-18. ICRISAT, India.
- Kay, F. D. 1979. Food legumes. Tropical Products Institute. pp 322-337.
- Krauss, F.G. 1932. The pigeon pea. Its improvement, culture and utilization in Hawaii. Hawaii Ag. Exp. Sta. Bull. pp. 64-67.
- Lépiz, I. R. 1978. La asociación maíz-frijol y el aprovechamiento de la luz solar. Tesis de Doctor en Ciencias. Colegio de Postgraduados, Chapingo, México.
- López G., J., J. Rojo S., M. Cano G., C. Arredondo V. y J. Ruiz V. 1992. Los sistemas de producción agropecuaria en los Valles Centrales de Oaxaca. II. Identificación y funcionamiento. Resúmenes del Coloquio Mesoamericano sobre Sistemas de Producción y Desarrollo Agrícola. 22-26 de junio, 1992, Texcoco. Méx. p. 68. CP-CEDERU-ORSTOM.
- Lorens, A. A., J. A. Olivieri y J.M. Ríos. 1956. Production and marketing of pigeon pea in Puerto Rico. pp.32-35. University of Puerto Rico. Agric. Exp. Stat. Bull.
- PRONDAT. 1976. Planes de desarrollo agrícola en áreas de temporal en el estado de Oaxaca. Primera reunión anual. Colegio de Postgraduados, Chapingo, México.
- Ruiz, V., J. 1978. Estabilidad y redituabilidad de patrones de cultivo en los Valles Centrales de Oaxaca. Resúmenes del XX Congreso-Nacional de la Ciencia del Suelo. Zacatecas, Zac. p. 254.
- Ruiz V., J. 1990. Determinación de la densidad óptima de siembra en chícharo gandul. Memoria de investigación 1970-1990 del Campo Experimental Valles Centrales de Oaxaca. XX aniversario. Publicación Especial No. 3. p. 32. Campo Experimental Valles Centrales de Oaxaca, Sto. Domingo Barrio Bajo, Etl. SARH-INIFAP-CAEVOAX.
- Ruiz V., J. 1991. Como producir frijol asociado con maíz en surcos alternos. Desplegable para productores no. 3. Campo Experimental Valles Centrales de Oaxaca, Sto. Domingo Barrio Bajo, Etl. SARH-INIFAP-CAEVOAX.
- SARH (Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos). 1990. Estadísticas del Distrito de Desarrollo Rural No. 02. Valles Centrales de Oaxaca. Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos, Oaxaca, Oax., México.

# GENERACION DE RECOMENDACIONES DE FERTILIZACION Y DENSIDAD DE PLANTAS PARA MAIZ DE TEMPORAL, MEDIANTE METODOS DETERMINISTICOS Y NO DETERMINISTICOS

Generation of Fertilizer and Plant Population Recommendations for Rain-fed Maize, using Deterministic and Non Deterministic Methods

R. Carvalho do V.<sup>1</sup>, N. Estrella Ch.<sup>2</sup>, V. Volke H.<sup>3</sup>, R. J. Laird<sup>3</sup>,  
F. Burguete H.<sup>2</sup> y A. Trinidad S.<sup>3</sup>

## RESUMEN

Se evaluaron varios métodos de generación de recomendaciones de fertilizantes y densidad de plantas para maíz de temporal en la región del Plan de Desarrollo Regional Comitán, Chiapas, bajo condiciones de riesgo climático. Los métodos estudiados fueron: entre los determinísticos, análisis factor-factor, matemático continuo con y sin restricciones de capital, y matemático continuo con incorporación del riesgo climático; y, entre los no determinísticos, de juegos estratégicos, de la media-varianza y de Hanoch-Levy. Entre los métodos determinísticos resultó más adecuado el método matemático continuo para capital ilimitado con la inclusión del riesgo climático, de acuerdo con el nivel de riesgo aceptado por el agricultor. Entre los métodos no determinísticos resultó ser más adecuado el método de Hanoch-Levy para agricultores más aversores al riesgo.

*Palabras clave:* Fertilización, densidad de plantas, maíz de temporal, riesgo climático.

## SUMMARY

Several methods for estimating optimal rates of fertilizers and plant population for rain-fed maize in the Comitán Regional Development Plan, Chiapas, under conditions with climatic risk, were evaluated. The following methods were studied: the factor-factor analysis method, the continuous mathematical method

with and without restrictions of capital, the continuous mathematical method with incorporation of climatic risk, among the deterministic methods; and, the strategic games method, the mean-variance method and Hanoch-Levy method, among non deterministic methods. The better methods were: the continuous mathematical without restrictions of capital, with the incorporation of climatic risk, to the level as accepted by the farmer, among the deterministic methods; and, the Hanoch-Levy method, for farmers with greater degree risk aversion, among the non deterministic methods.

*Index words:* Fertilization, plant density, rain-fed maize, climatic risk.

## INTRODUCCION

En las dos últimas décadas se han implementado en México una serie de programas regionales de desarrollo agrícola en áreas de temporal, tendientes a incrementar la producción de cultivos, fundamentalmente los básicos, con base en la adopción y uso por los agricultores de tecnologías de producción más intensivas.

La agricultura de temporal es una actividad que involucra riesgos que el agricultor no siempre acepta asumir, especialmente cuando no cuenta con la suficiente capacidad para ello y los objetivos de seguridad son esenciales. En estos términos, la inversión que el agricultor pueda y esté dispuesto a realizar en la actividad agrícola estará determinada no sólo por la disponibilidad de capital sino también por su capacidad para enfrentar riesgo, de tal manera que la adopción y uso de tecnologías mejoradas de mayores costos que su tecnología convencional, no siempre será factible dentro de objetivos de aumento de la producción y los ingresos, cuando no se contemplen los márgenes de seguridad adecuados.

<sup>1</sup> Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuaria (EMBRAPA), Brasília, D.F., Brasil.

<sup>2</sup> Instituto de Socioeconomía, Estadística e Informática, Colegio de Postgraduados en Ciencias Agrícolas, 56230 Montecillo, Méx.

<sup>3</sup> Instituto de Recursos Naturales, Colegio de Postgraduados en Ciencias Agrícolas, 56230 Montecillo, Méx.

En la región de la Meseta Comiteca de Chiapas, casi 100 % de los cultivos de maíz son efectuados en condiciones de temporal. En esta región opera desde 1976 el Plan de Desarrollo Regional Comitán dentro del cual, a partir de resultados de la investigación realizada, se han generado recomendaciones de fertilización nitrogenada y fosfatada y de densidad de plantas para maíz de temporal (Colegio de Postgraduados, 1989; Fernández, 1988).

La generación de las recomendaciones se realizó con base en los métodos determinísticos convencionales, sin mayores consideraciones sobre el riesgo climático de producción, así como tampoco sobre lo que esto pudiese implicar en términos de la adopción de las recomendaciones generadas por parte de los agricultores.

En la presente investigación se realiza un estudio de algunos procedimientos metodológicos, tanto determinísticos como no determinísticos, para la generación de recomendaciones de fertilización nitrogenada y fosfatada y de densidad de plantas para maíz de temporal en la región del Plan de Desarrollo Regional Comitán, Chiapas, con fines de comparar los distintos procedimientos metodológicos y determinar cuáles de ellos serían más apropiado para generar recomendaciones tecnológicas bajo condiciones de riesgo.

La información usada en la investigación corresponde a los resultados de la investigación agronómica realizada en la región por el Plan Comitán sobre la respuesta del maíz de temporal a la fertilización nitrogenada y fosfatada y densidad de plantas, durante el período de 1976 a 1986, así como la información meteorológica, edáfica y socioeconómica disponible (Colegio de Postgraduados, 1989; Fernández, 1988).

## MARCO TEORICO Y METODOLOGICO

La búsqueda de soluciones a la problemática de optimización de los insumos de la producción agrícola en ambientes agroecológicos de indeterminación, se fundamenta en que las decisiones concernientes a los niveles de tecnología de producción en la agricultura de temporal limitativo están afectadas por el riesgo y la incertidumbre (Volke, 1988).

### Metodologías Determinísticas

**Método de análisis del tipo factor-factor.** De acuerdo con Buse (1974), en un análisis del tipofactor-factor, la

combinación óptima de insumos es aquella que minimiza los costos para un nivel dado de producción. En estos términos, esta combinación depende de las relaciones de precio entre los insumos, y de tal manera, ella debe satisfacer la condición:  $dx_2/dx_1 = P_{x_1}/P_{x_2}$ .

Partiendo de una función de producción se determinan las distintas combinaciones de los insumos que originan un mismo nivel de producción, y para diferentes niveles de producción, es decir, con esto se obtienen las correspondientes curvas isocuantas, denominadas también curvas de isoproducto o curvas de indiferencia técnica. A continuación se determinan las líneas isocosto, de acuerdo con la relación de precios de los insumos,  $P_{x_1}/P_{x_2}$ . Los puntos de tangencia entre las isocuantas y las líneas isocosto definen las dosis óptimas de los insumos, de mínimo costo, para los niveles de producción establecidos. Finalmente, se traza la isocline, la línea que une los puntos de tangencia de los distintos niveles de producción, obteniéndose la combinación óptima de los insumos para los niveles de producción considerados.

Este tipo de análisis resulta útil para orientar la decisión del productor sobre el monto de capital a invertir en insumos variables, para la obtención de una producción esperada.

En el presente caso, se determinaron las combinaciones óptimas de mínimo costo para N y P, a un nivel constante de densidad de plantas, para los niveles de producción del maíz de mayor interés dentro de los agrosistemas definidos en la región.

**Método matemático continuo.** Con el método matemático continuo, a partir de una función de producción, las dosis óptimas económicas de los insumos corresponden al punto en que es máxima la utilidad por superficie, lo ocurre bajo la condición de que el valor del producto marginal es igual al precio del insumo.

Matemáticamente, esto es,

$$\frac{\partial Y}{\partial x_i} P_y = P_{x_i}$$

de lo que se pasa a

$$\frac{\partial Y}{\partial x_i} = \frac{P_{x_i}}{P_y}$$

expresión de trabajo, que al resolverla da los óptimos económicos buscados.

En el presente caso, el método matemático continuo se aplicó para situaciones de:

1. Capital ilimitado y limitado, considerando la situación climática media de la región en cuanto a precipitación, con base en una probabilidad de 50 % para el período de 60 a 110 días después de la siembra del maíz.

2. Capital ilimitado, para dos situaciones de riesgo climático, definido por las probabilidades de precipitación de 75 y 50 % para el período de 60 a 110 días después de la siembra del maíz.

En ambos casos, se determinaron los óptimos económicos para los distintos agrosistemas definidos en la región.

### Metodologías No Determinísticas

Existen diversos métodos para situaciones de incertidumbre que no constituyen propiamente una metodología para la generación de tecnología, sino que son técnicas analíticas que permiten la comparación de alternativas tecnológicas, y la selección de la o las mejores de acuerdo con un criterio dado. En estos términos, las alternativas tecnológicas deben ser generadas previamente y los métodos a seguir suelen ser los vistos antes, más otros similares que combinan a éstos con tasas de retorno del capital, mínimas a obtener (Volke, 1990).

Una vez definidas las alternativas tecnológicas, se procede a calcular para ellas sus respectivos rendimientos, con base en una función de producción, y utilidades que proporcionan.

**Teoría de juegos estratégicos.** La metodología de juegos estratégicos para la selección de alternativas tecnológicas comprende la teoría de juegos estratégicos y la teoría de optimización de decisiones.

En sí, la metodología tiene la configuración de un juego estratégico en que intervienen dos jugadores: el agricultor y la naturaleza. En este tipo de juego, el agricultor evalúa las estrategias de acción con base en su percepción subjetiva u objetiva de los estados de la naturaleza que pueden prevalecer (incertidumbre y riesgo) y sus consecuencias (utilidades o pérdidas) para la toma de decisión, mientras que las jugadas de la naturaleza son aleatorias (Anderson *et al.*, 1977; Lange, 1975; Ventzel, 1980).

Se consideraron diversas alternativas tecnológicas o decisiones, bajo cinco estados probables de la naturaleza, definidos con relación a la distribución de probabilidades de las precipitaciones en el período de 60 a 110 días después de la siembra del maíz y cinco clases de probabilidades de excedencia de la precipitación, de: 0 a 0.20, 0.21 a 0.40, 0.41 a 0.60, 0.61 a 0.80 y 0.81 a 1.00; posteriormente, con base en una función de producción, se estiman las consecuencias: utilidades o pérdidas, para las distintas estrategias tecnológicas de interés (estrategias de acción), dentro de cada estado de la naturaleza.

En estos términos, con la función de producción se calculan los rendimientos y los ingresos netos respectivos de las estrategias tecnológicas, para cada estado de la naturaleza, se construye una matriz de utilidades, con las hileras para las estrategias de acción disponibles para el agricultor (jugador A) y con las columnas para los estados de la naturaleza (jugador B), a partir de la cual, de acuerdo con el criterio, se obtiene la estrategia de acción óptima, es decir, la tecnología a recomendar.

**Criterio de Wald.** El criterio de decisión de Wald (Lange, 1975), también conocido como criterio de decisión "maximinimum", es aplicable en situaciones de incertidumbre absoluta, es decir, cuando el agricultor desconoce la distribución probabilística de los eventos aleatorios que intervienen y adopta la estrategia de acción de pesimismo extremo, esto es, selecciona la estrategia de acción basada en la máxima de las mínimas utilidades esperadas.

**Criterio de Laplace.** El criterio de decisión de Laplace (Lange, 1975) supone que el responsable de la toma de decisión conoce los probables estados de la naturaleza "ex ante". En estas circunstancias, suponiendo que los estados de la naturaleza tienen iguales probabilidades de ocurrir, el agricultor adopta como estrategia de acción basada en la máxima utilidad esperada. El procedimiento de cálculo para la toma de decisiones consiste en determinar los valores medios de las consecuencias de cada acción para los estados de la naturaleza, para entonces seleccionar la decisión que corresponde al máximo valor esperado de la utilidad.

**Criterio de Hurwicz.** Conforme al criterio de decisión de Hurwicz (Ventzel, 1980), el jugador asocia un índice de optimismo-pesimismo de naturaleza subjetiva, fundamentado en las utilidades máximas y mínimas. Este índice varía entre 1 y 0, y representado como  $x$ , en situaciones de pesimismo extremo  $x=1$ , y en situaciones

de optimismo extremo  $X=0^1$ . Considerando que la selección del valor de  $x$  es de naturaleza subjetiva, y que las condiciones del área de la Meseta Comiteca de Chiapas es más favorable que desfavorable para la producción de maíz, se consideró el valor de  $x$  igual a 0.70, siendo entonces  $x$  el factor de ponderación para las utilidades máximas y  $1-x$  para las utilidades mínimas.

Para la selección de la estrategia de acción se multiplican las utilidades máximas y mínimas de cada estrategia por sus respectivos ponderadores,  $x$  para las utilidades máximas y  $1-x$ , para las utilidades mínimas, obteniéndose la suma de las utilidades ponderadas, y la estrategia de acción óptima será aquella asociada al mayor valor esperado de la utilidad.

**Criterio de Savage.** El criterio de decisión de Savage (Montoya, 1972) se basa en minimizar la pérdida de utilidad, es decir, aquella utilidad que pudiera haberse logrado si se hubiese conocido el juego del adversario, y para seleccionar la estrategia de acción se procede a: 1) seleccionar las utilidades máximas de las estrategias de acción para cada estado de la naturaleza; 2) determinar índice de pérdida de utilidades, es decir, la diferencia entre la utilidad obtenida con la estrategia de acción equivocada y la utilidad máxima obtenida con la mejor estrategia de acción, dentro de cada estado de la naturaleza; y, 3) la estrategia de acción seleccionada es aquella que tiene un menor índice de pérdida de utilidades.

**Método de la media-varianza.** El método de la media-varianza se basa en la teoría de decisión de Bernoulli, considerando sus axiomas de ordenamiento, continuidad e independencia, a los cuales adiciona dos supuestos: que la función de utilidad es cuadrática y que la función de densidad probabilística es normal (Anderson *et al.*, 1977; Porter, 1973). Sin embargo, el último supuesto no siempre resulta válido (Haddar y Russell, 1969).

La selección de alternativas tecnológicas por el método de la media-varianza considera como criterio de selección que las preferencias están por las alternativas con mayores medias para una misma varianza de los ingresos, y menores varianzas para una misma media de los ingresos; sin embargo, cuando de dos alternativas una presenta tanto mayor media como mayor varianza que otra, ambas son consideradas como igualmente

eficientes y seleccionables, lo que constituye una limitante del método de la media-varianza. Para superar esta limitación, deben ser utilizados criterios adicionales, propios de la teoría de juegos (Cruz, 1984).

**Método de Hanoch-Levy.** El método de Hanoch-Levy, a igual que el método de la media varianza, se basa en la teoría de decisión de Bernoulli y sus axiomas de ordenamiento, continuidad e independencia, adicionándole los supuestos: que la función de utilidad es cuadrática y que la función de densidad probabilidad es simétrica (Hanoch y Levy, 1970).

La selección de alternativas tecnológicas por el método de Hanoch y Levy se basa en un análisis de dominancia, seleccionándose aquella alternativa tecnológica no dominada. Para dos alternativas tecnológicas,  $X_1$  y  $X_2$ , este análisis de dominancia está dado por la expresión:

$$2(U_1 - U_2) (U_m - U) - (S_1^2 - S_2^2) > 0$$

siendo desconocido  $U_m$ , si  $U_1 > U_2$ , se sustituye por  $U_1$ , y se llega a la expresión:

$$(U_1 - U_2)^2 - (S_1^2 - S_2^2) > 0 \quad (\text{Anderson } et al., 1977; \text{ Hanoch y Levy, 1970}).$$

**Función generalizada de producción.** La función generalizada de producción (FGP) para el cultivo del maíz en la región del área de influencia del Plan Comitán se obtuvo con base en 60 experimentos de campo de respuesta al nitrógeno (N), fósforo (P) y densidad de plantas (D), realizados de 1976 a 1986, y considerado factores de suelo, clima y manejo.

Los experimentos de campo incluyeron los factores N, P y D, en un diseño de tratamientos "matriz Plan Puebla". Los factores de suelo considerados fueron: pH, materia orgánica, nitrógeno total, fósforo Bray 1, azufre, cationes intercambiables (Ca, Mg, K y Na), textura, humedad a un tercio y a 15 atm.

Los factores climáticos considerados fueron la precipitación y la evapotranspiración en el periodo de 60 a 110 días desde la siembra del cultivo, para fechas de siembra medias de las siembras de humedad residual, periodo 14 de mayo a 3 de julio, y de temporal, periodo 1 de julio a 28 de agosto, estimadas para cada experimento en las estaciones meteorológicas más cercanas, ya sea de Comitán o Las Margaritas.

Los factores de manejo considerados fueron: la fecha de siembra dentro de cada condición de producción, esto es

<sup>1</sup>Cuando  $x=1$ , el criterio de Hurwicz se transforma en el criterio de Wald, y cuando  $x=0$ , en el criterio de Savage.

siembras de humedad residual y siembras de temporal, y la variedad.

La metodología seguida para la obtención de la FGP fue la siguiente:

- Se observó gráficamente la respuesta a los factores N, P y D, para definir el modelo más frecuente y apropiado para ellos.

- Se observó la relación gráfica entre el rendimiento sin fertilización y máximo *versus* los factores de suelo, clima y manejo, con base en lo cual se definió la forma de la relación y las respectivas variables del modelo a especificar, en sus variables simples y de interacciones con los factores N, P y D, y entre ellas.

- Al modelo especificado se le aplicó con el procedimiento de "máximo incremento de  $R^2$ " del programa SAS (Statistical System Analysis), usando como criterio de bondad el menor cuadrado medio de desviaciones de regresión para obtener el mejor modelo.

- El modelo final a obtener fue probado en sus residuales *versus* todos los factores considerados, en sus formas simples y de interacciones de interés, a fin de observar si las variables incluidas en la FGP expresaban adecuadamente la forma de la respuesta o si hubiesen quedado factores y variables importantes fuera del modelo.

## RESULTADOS Y DISCUSION

### Función Generalizada de Producción

La función generalizada de producción (FGP) obtenida para la región Meseta Comiteca de Chiapas se presenta en el Cuadro 1.

Con la FGP se trabajó con los agrosistemas definidos en la región, para lo cual se consideró sus diferencias en los factores incluidos en ella. De esta manera, los factores diferenciadores considerados fueron la profundidad del suelo, la fecha de siembra y la precipitación para las siembras de humedad residual y de temporal, para dos niveles de probabilidad de excedencia, esto es 50 y 75 % en el período de 60 a 110 días después de la siembra<sup>2</sup>; a su vez, los demás factores se consideraron a un nivel medio, debido a que

<sup>2</sup>En el caso de la precipitación, ella se consideró a las probabilidades de 50 y 75% de excedencia, con base en una distribución de probabilidad normal, para el período considerado y en las estaciones meteorológicas de Comitán y Las Margaritas, usando los valores medios para ambas estaciones meteorológicas.

**Cuadro 1. Función generalizada de producción obtenida para la región Meseta Comiteca de Chiapas.**

Variable	Coefficiente de regresión	Variable	Coefficiente de regresión
Ordenada	-3140.5	(s-16) <sup>0.5</sup>	508.48
N <sup>0.75</sup>	95.655	(s-16)	-53.015
N <sup>2</sup>	0.07856	(s-16) <sup>0.5</sup> (R-75) <sup>0.5</sup>	16.387
N <sup>0.75</sup> P	0.77810	(H-8)	198.54
N <sup>0.75</sup> P <sup>2</sup>	-0.00642	(H-8) <sup>2</sup>	-4.5775
N <sup>0.75</sup> (n-0.01) <sup>0.5</sup>	-57.370	(H-8)(R-75) <sup>0.5</sup>	-16.454
N <sup>0.75</sup> (A-22) <sup>2</sup>	-0.02700	(R-75) <sup>0.75</sup> (E-85) <sup>2</sup>	-0.00212
N <sup>0.75</sup> P(s-16) <sup>0.6</sup>	0.04195	(F-25)	12.226
N <sup>0.75</sup> P(A-22) <sup>0.5</sup>	-0.00046	(F-25) <sup>2</sup>	-0.35478
N <sup>0.5</sup> P(F-25) <sup>2</sup>	-0.000011	(F-25) <sup>3</sup>	0.00173
N <sup>0.5</sup> P(R-75) <sup>0.5</sup>	0.03493	(D-40)	134.28
N <sup>0.5</sup> P(R-75) <sup>0.5</sup> G <sub>34</sub>	-0.02358	(D-40) <sup>1.5</sup>	-14.941
(n-0.01) <sup>0.5</sup> P <sup>0.5</sup>	117.97	(D-40)(R-75) <sup>0.5</sup>	1.3518
(k-0.3)	3032.4		
(k-0.3) <sup>2</sup>	-3528.3		

CMDR = 501020; Pr. F = 0.01; R<sup>2</sup> = 0.733

<sup>†</sup>N = nitrógeno aplicado (kg N ha<sup>-1</sup>); P = fósforo aplicado (kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ha<sup>-1</sup>); n = nitrógeno total del suelo (%); k = potasio del suelo (me/100 g); s = sulfatos del suelo (ppm); A = arcilla del suelo (%); F = fecha de siembra (días a partir del 1 de enero); R = precipitación en el período de 60 a 110 días desde la siembra (mm); H = humedad aprovechable del suelo (% volumen); E = evapotranspiración en el período de 60 a 110 días desde la siembra (mm); G<sub>34</sub> = agrosistemas 3 y 4 *versus* agrosistemas 1 y 2; y, D = densidad de plantas.

no se encontró diferencias importantes de ellos entre agrosistemas. Los agrosistemas y los valores de los factores diferenciadores considerados con base en la FGP se presentan en el Cuadro 2.

Los agrosistemas III y IV no fue posible separarlos por sus diferencias de suelo (pendiente) y altitud sobre el nivel del mar, por lo que se consideraron en conjunto.

### Dosis Optimas Económicas de N y P con base en Análisis del Tipo Factor-factor

A partir de la FGP obtenida, se determinaron las combinaciones de nitrógeno y fósforo, a una densidad de plantas constante de 45 000 plantas ha<sup>-1</sup>, para distintos niveles de producción, las más frecuentes, para los distintos agrosistemas y la precipitación de 50 % de probabilidad de excedencia. Con base en ellas y considerando una relación de precios para los insumos N y P, Pn/Pp = 0.8, se obtuvieron las combinaciones de N y P de mínimo costo para cada nivel de producción. Gráficamente, esto consistió en construir las isocuantas correspondientes a los niveles de rendimientos considerados y las líneas isocosto y la isoclima correspondiente a la ruta de expansión económica, según se muestra en la Figura 1 para el caso del agrosistema II.

Cuadro 2. Agrosistemas y factoresdiferenciantes según la FGP† obtenida.

Agrosistema	Régimen de humedad	Tipo de suelo	Altitud	Fecha de siembra media	Precipitación de excedencia	
					75%	50%
I	Humedad residual	Negros, profundos, planos	m 1500	15 de marzo	mm 220	275
II	Temporal	Negros, profundos	>1500	1 de mayo	180	235
III	Temporal	Negros, delgados, pen - dientes mayor que 20%	>1500	1 de mayo	180	235
IV	Temporal	Negros, delgados	1500	1 de mayo	180	235

† FGP = Función generalizada de producción.

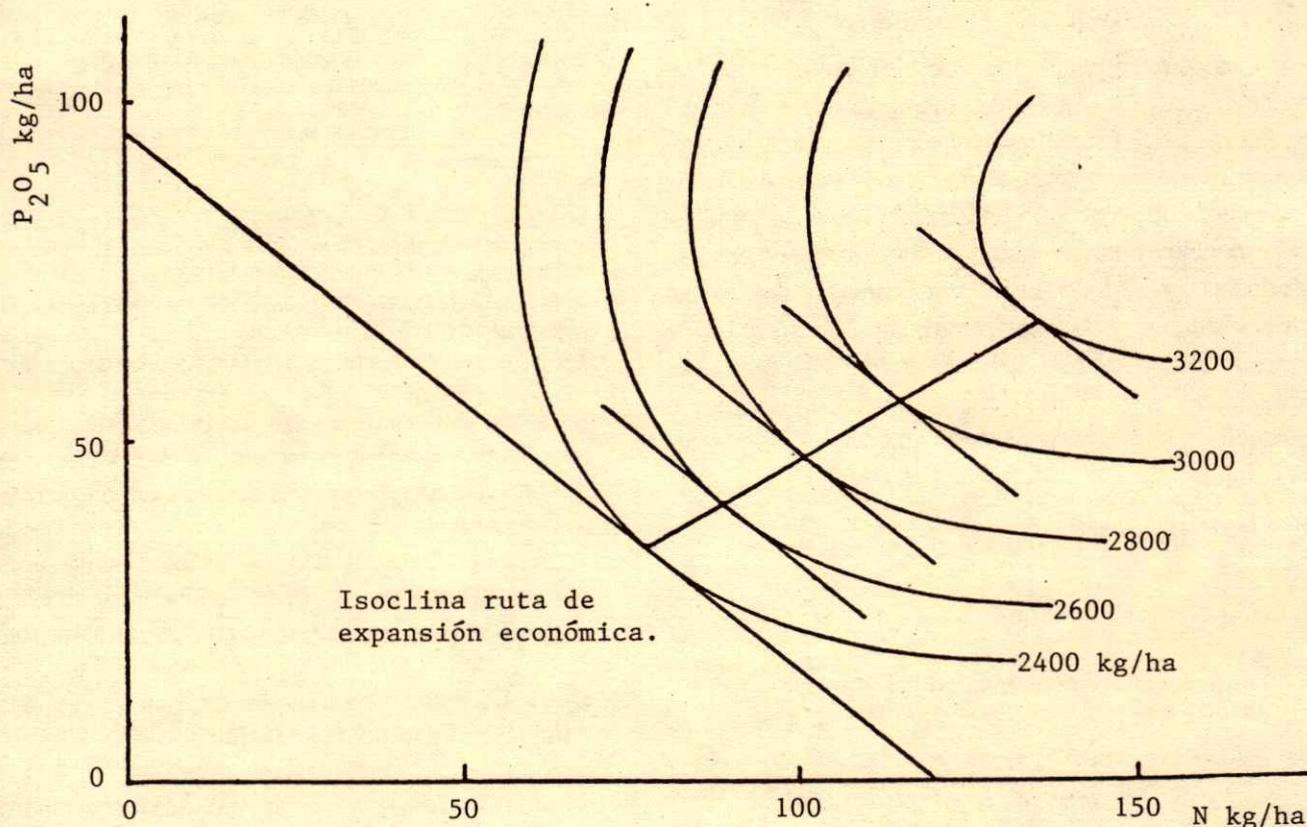


Figura 1. Combinaciones óptimas de N y P, para distintasocuantas, en elagrosistema II.

De esta manera, en el Cuadro 3 se presentan las combinaciones óptimas de N y P de mínimo costo para los distintos niveles de producción de los agrosistemas considerados.

#### Dosis Óptimas Económicas de N, P y D por el Método Matemático Continuo, para Situaciones de Capital Ilimitado y Limitado

A partir de la FGP obtenida, y considerando las relaciones de precios insumo/producto de  $P_n/P_y = 3.3$ ,

$P_p/P_y = 4.2$  y  $P_d/P_y = 2.5$ , se determinaron las DOE de N, P y densidad de plantas de capital variable ilimitado y de capital variable limitado del orden de las dos terceras partes y de una tercera parte del manto del capital variable ilimitado, para la condición media de precipitación (probabilidad de 50 % de excedencia), en los distintos agrosistemas. Así, en el Cuadro 4 se presentan las DOE de N, P y D de capital ilimitado y limitado, para la condición media de precipitación, así como los rendimientos óptimos económicos (ROE) para los distintos agrosistemas.

**Cuadro 3. Combinaciones óptimas de N y P de mínimo costo para los diferentes niveles de producción en los agrosistemas considerados.**

Agrosistema	Nivel del rendimiento y combinación N-P (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )				
	kg ha <sup>-1</sup>				
I	4000	3800	3600	3400	3200
	149-79	131-67	116-58	107-49	101-40
II	3200	3000	2800	2600	2400
	137-67	116-56	101-48	89-41	77-35
III y IV	2500	2300	2100	1900	1700
	122-44	95-32	80-23	68-14	56-8

### Dosis Óptimas Económicas de N, P y D por el Método Matemático Continuo, para Diferentes Niveles de Riesgo

Con base en la FGP obtenida, y las relaciones de precios insumo/producto de  $P_n/P_y = 3.3$ ,  $P_p/P_y = 4.2$  y  $P_d/P_y = 2.5$ , se determinaron las DOE de N, P y D, para dos niveles de riesgo, estimados a partir de las probabilidades de precipitación de 75 y 50 % de excedencia en el período de 60 a 110 días desde la siembra, esto es, de 14 de mayo a 3 de julio para las siembras de humedad residual y de 1 de julio a 20 de agosto para las siembras de temporal.

De acuerdo con esto, en el Cuadro 5 se presentan las DOE de N, P y D, y el ROE correspondiente, estimadas para los dos niveles de riesgo, en los distintos agrosistemas considerados.

### Alternativas Tecnológicas de N, P y D Óptimas para Situaciones de Incertidumbre.

Con fines de determinar las alternativas tecnológicas de N, P y D óptimas para situaciones de incertidumbre, se definieron cinco estados de la naturaleza, en relación con las precipitaciones en el período de 60 a 110 días después de la siembra. Para esto se consideraron las distribuciones de probabilidad de la precipitación de las estaciones meteorológicas de Comitán y Las Margaritas, y cinco clases de precipitación, definidas éstas por la probabilidad, de 0 a 0.20, de 0.21 a 0.40, de 0.41 a 0.60, de 0.61 a 0.80 y de 0.81 a 1.00, para las cuales con sus valores medios se determinó el valor medio de precipitación de cada clase y, posteriormente, con base en la FGP obtenida se estimó una matriz de utilidades (ingresos netos), para distintas alternativas tecnológicas de interés (estrategias de acción); mas, en el presente caso, esto se hizo sólo para el agrosistema II.

En el Cuadro 6 se presentan las 16 alternativas tecnológicas de N, P y D consideradas, para el agrosistema II.

En el Cuadro 7 se presentan las utilidades dadas por las alternativas tecnológicas consideradas, por estado de la naturaleza, para la aplicación de los métodos de la teoría de juegos estratégicos, de la media-varianza y de Henoch-Levy.

**Alternativas tecnológicas de N, P y D óptimas obtenidas con base en la teoría de juegos estratégicos.** En el Cuadro 8 se presentan los resultados obtenidos para la selección de alternativas tecnológicas de N, P y D óptimas, mediante la teoría de juegos estratégicos, para los criterios de decisión de Wald, Laplace, Savage y Hurwitz.

De acuerdo con lo observado en el Cuadro 8, el criterio de Wald da como alternativa tecnológica óptima a la 8, correspondiente a la recomendación del Plan Comitán de capital ilimitado, con 40 000 pl ha<sup>-1</sup>, y los criterios de Laplace, Savage y Hurwitz dan como alternativa tecnológica óptima a la 3, correspondiente la recomendación de capital ilimitado, obtenida con la FGP para una probabilidad de precipitación de 50 % de excedencia.

Para el caso del criterio de Wald, este resultado concuerda con su característica de seleccionar acciones con base en un presimismo extremo; en cambio, los criterios de Laplace y Hurwitz seleccionaron la alternativa tecnológica que dio el máximo ingreso por superficie, y el criterio de Savage seleccionó la alternativa tecnológica que dio la menor pérdida de utilidad, que en este caso corresponde a la alternativa que dio el máximo ingreso neto, seleccionada también por los criterios de Laplace y Hurwitz.

**Cuadro 4. Dosis óptimas económicas (DOE) de N, P y D, y rendimiento óptimo económico (ROE), de capital ilimitado y limitado, para la condición media de precipitación, en los agrosistemas considerados.**

Agro-sistema	Nivel de capital											
	Capital ilimitado				Capital limitado: 3/4 capital ilimitado				Capital limitado: 1/2 capital ilimitado			
	DOE-N	DOE-P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	DOE-D	ROE	DOE-N	DOE-P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	DOE-D	ROE	DOE-N	DOE-P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	DOE-D	ROE
I	152	82	46000	4025	111	59	43000	3560	78	29	40000	2753
II	142	72	44000	3247	107	49	41000	2849	74	22	40000	2161
III-IV	118	49	44000	2517	90	32	40000	2244	63	11	40000	1799

**Cuadro 5. Dosis óptimas económicas (DOE) de N, P y D, y rendimiento óptimo económico (ROE) para dos niveles de riesgo, 75 y 50% de probabilidad de precipitación, en los agrosistemas considerados.**

Agro-sistema	Probabilidad de precipitación											
	75 %						50 %					
	DOE-N	DOE-P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	DOE-D	ROE	DOE-N	DOE-P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	DOE-D	ROE	DOE-N	DOE-P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	DOE-D	ROE
I	144	77	44000	3809	152	82	46000	4025	142	72	44000	3247
II	134	67	42000	3054	142	72	44000	2849	118	49	44000	1799
III-IV	115	47	42000	2503	118	49	44000	2244	63	11	40000	1799

**Cuadro 6. Alternativas tecnológicas de N, P y D consideradas para el agrosistema II.**

Número	Alternativa tecnológica		D pl ha <sup>-1</sup>	Fuente de la alternativa tecnológica
	N kg ha <sup>-1</sup>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> kg ha <sup>-1</sup>		
1	140	70	55000	De capital ilimitado, con base en la FGP, con 55 000 pl ha <sup>-1</sup> , para una probabilidad de precipitación de 50%
2	140	70	50000	De capital ilimitado, con base en la FGP, con 50 000 pl ha <sup>-1</sup> , para una probabilidad de precipitación de 50%
3	140	70	45000	De capital ilimitado, con base en la FGP, para una probabilidad de precipitación de 50%
4	135	65	50000	De capital ilimitado, con base en la FGP, con 50 000 pl ha <sup>-1</sup> , para una probabilidad de precipitación de 75%
5	135	65	45000	De capital ilimitado, con base en la FGP, para una probabilidad de precipitación de 75%
6	120	60	50000	Recomendación del PlanComitán, de capital ilimitado
7	120	60	45000	Recomendación del PlanComitán de capital ilimitado, con 45 000 pl ha <sup>-1</sup>
8	120	60	40000	Recomendación del PlanComitán de capital ilimitado, con 40 000 pl ha <sup>-1</sup>
9	110	35	50000	Tecnología media del productor
10	110	50	40000	De capital ilimitado, con 3/4 del capital de la tecnología de capital ilimitado, con base en la FGP
11	110	50	45000	De capital ilimitado, con 3/4 del capital de la tecnología de capital ilimitado, con 45 000 pl ha <sup>-1</sup>
12	90	40	40000	Recomendación del PlanComitán, de capital limitado, con 40 000 pl ha <sup>-1</sup>
13	90	40	35000	Recomendación del PlanComitán, de capital limitado.
14	90	70	50000	Recomendación del Distrito de Desarrollo Comitán
15	75	20	40000	Tecnología intermedia, con 1/2 del capital de la tecnología de capital ilimitado, con base en la FGP
16	0	0	35000	Testigo sin fertilización, con base en la FGP

**Cuadro 7. Utilidades dadas por las alternativas tecnológicas de N, P y D consideradas, por estado de la naturaleza.**

Número	Alternativa tecnológica			Utilidades por estado de la naturaleza (probabilidad media de las clases de precipitación)				
	N kg ha <sup>-1</sup>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> kg ha <sup>-1</sup>	D pl ha <sup>-1</sup>	0.90	0.70	0.50	0.30	0.10
1	140	70	55000	646	908	1033	1182	1312
2	140	70	50000	731	973	1089	1227	1348
3	140	70	45000	784	1007	1114	1241	1353
4	135	65	50000	758	974	1077	1199	1307
5	135	65	45000	811	1007	1101	1213	1311
6	120	60	50000	771	946	1031	1131	1219
7	120	60	45000	824	980	1055	1145	1223
8	120	60	40000	843	981	1047	1125	1194
9	110	35	50000	816	910	953	1005	1050
10	110	50	40000	800	909	962	1024	1079
11	110	50	45000	672	751	788	833	872
12	90	40	40000	709	747	765	787	806
13	90	40	35000	693	712	721	732	742
14	90	70	50000	634	797	875	968	1050
15	75	20	40000	491	464	451	436	422
16	0	0	35000	-715	-811	-857	-912	-960

Alternativa tecnológica de N, P y D óptima obtenida con base en el método de la media-varianza. En el Cuadro 9 se presenta el ingreso neto medio y la varianza de los ingresos correspondientes a los distintos estados de la naturaleza, obtenidos para las alternativas

tecnológicas de N, P y D consideradas, en la aplicación del método de la media-varianza, para la selección de alternativas tecnológicas óptimas.

Siguiendo el método de la media-varianza, la selección de alternativas tecnológicas se basa en que de dos

**Cuadro 8. Aplicación de la teoría de juegos estratégicos, con los criterios de decisión Wald, Laplace, Savage y Hurwitz.**

Número	Alternativa tecnológica			Wald	Criterio de decisión			Hurwitz
	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	D		Laplace	Savage		
	--- kg ha <sup>-1</sup> ---							
			pl ha <sup>-1</sup>					
1	140	70	55000	646	1016	-477	1112	
2	140	70	50000	731	1074	-189	1163	
3	140	70	45000	784	1100†	60†	1182†	
4	135	65	50000	758	1063	-243	1142	
5	135	65	45000	811	1089	-115	1161	
6	120	60	50000	771	1019	-461	1085	
7	120	60	45000	824	1045	-331	1103	
8	120	60	40000	843†	1038	-369	1089	
9	110	35	50000	819	947	-821	981	
10	110	50	40000	800	955	-784	995	
11	110	50	45000	672	783	-1642	812	
12	90	40	40000	709	763	-1743	777	
13	90	40	35000	693	720	-1958	727	
14	90	70	50000	634	865	-1234	925	
15	75	20	40000	491	453	-3295	470	
16	0	0	35000	-960	-851	-9813	-789	

† Alternativa tecnológica óptima seleccionada.

alternativas se selecciona aquella que para ingresos medios similares presenta menor varianza, y para varianzas similares presenta mayor ingreso, sin embargo, para el caso en que una tecnología presente un ingreso medio mayor a la vez que también una varianza mayor, ambas se consideran igualmente suficientes, y seleccionables.

Así entonces, a partir del Cuadro 9 se presenta la comparación de los ingresos medios y varianzas de los ingresos de las alternativas tecnológicas de manera pareada, con lo cual se obtuvo la dominancia de ellas, según se muestra en el Cuadro 10, en términos de que una alternativa tecnológica de la hilera domina a la alternativa tecnológica de la columna cuando tiene un +1 y es dominada por ésta cuando tiene un -1, a la vez que cuando se tiene un 0, no existe dominancia entre ellas, por lo que son igualmente eficientes.

Según los resultados del Cuadro 10, las alternativas tecnológicas no dominadas por ninguna otra son la 3, 5, 7, 8, 9, 10, 11, 12 y 13, y la selección de la o las mejores entre ellas requiere entonces de otro criterio. En estos términos, el método de la media varianza resulta incompleto para la selección de alternativas tecnológicas que resulten similares y sin dominancia entre ellas.

#### Alternativa Tecnológica de N, P y D Óptima Obtenida con base en el Método Hanoch-Levy.

El método de Hanoch-Levy selecciona alternativas tecnológicas a partir de un análisis de dominancia,

**Cuadro 9. Ingreso neto medio y varianza de los ingresos para las alternativas tecnológicas de N, P y D consideradas.**

Núm.	Alternativa tecnológica			Ingreso neto medio	Varianza de los ingresos
	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	D		
	--- kg ha <sup>-1</sup> ---				
			pl ha <sup>-1</sup>		----- kg ha <sup>-1</sup> -----
1	140	70	55000	1016	66008
2	140	70	50000	1075	56644
3	140	70	45000	1100	48150
4	135	65	50000	1063	44794
5	135	65	45000	1089	37203
6	120	60	50000	1020	29881
7	120	60	45000	1045	23713
8	120	60	40000	1038	18314
9	110	35	50000	947	7941
10	110	50	40000	955	11582
11	110	50	45000	783	5947
12	90	40	40000	763	1400
13	90	40	35000	720	355
14	90	70	50000	865	25730
15	75	20	40000	453	4259
16	0	0	35000	-851	8934

seleccionándose aquella, de entre dos que se comparen, que no es dominada de acuerdo con el criterio de comparación propio del método.

La información sobre la media y la varianza de los ingresos netos que utiliza el método de Hanoch-Levy es la misma que utiliza el método de la media varianza, esto es, la presentada en el Cuadro 9.

De acuerdo con los resultados del Cuadro 11, la alternativa tecnológica que no es dominada por alguna otra es la 9, por lo que constituye la alternativa

**Cuadro 10. Dominancia de las alternativas tecnológicas con base en los ingresos medios y las varianzas de los ingresos, comparadas de manera pareada, según el método de la media-varianza.**

	Alternativa tecnológica															
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
1	0	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	0	0	0	0	0	0	0	0
2	+1	0	-1	0	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	+1	+1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	+1	+1	0	0	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	+1	+1	0	+1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	+1	0	0	0	0	0	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7	+1	0	0	0	0	+1	0	0	0	0	0	0	0	+1	0	0
8	+1	0	0	0	0	+1	0	0	0	0	0	0	0	+1	0	0
9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	+1	+1	+1
14	0	0	0	0	0	0	-1	-1	-1	0	0	0	-1	0	0	+1
15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	-1	0	+1
16	0	0	+1	0	0	0	0	0	0	0	-1	-1	-1	0	-1	0

† La lectura se hace de manera horizontal: 0 significa que no existe dominancia entre las alternativas tecnológicas, +1 significa que la alternativa de la línea domina a la de la columna, y -1 significa que la alternativa de la línea es dominada por la de la columna.

**Cuadro 11. Dominancia de las alternativas tecnológicas con base en los ingresos medios y las varianzas de los ingresos, comparadas de manera pareada, según el método Hanoch-Levy.**

	Alternativa tecnológica															
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
1	0	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	+1	-1	+1	+1
2	+1	0	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	+1	+1	+1	+1	+1	+1
3	+1	+1	0	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	+1	+1	+1	+1	+1	+1
4	+1	+1	+1	0	-1	-1	-1	-1	-1	-1	+1	+1	+1	+1	+1	+1
5	+1	+1	+1	+1	0	-1	-1	-1	-1	-1	+1	+1	+1	+1	+1	+1
6	+1	+1	+1	+1	+1	0	-1	-1	-1	-1	+1	+1	+1	+1	+1	+1
7	+1	+1	+1	+1	+1	+1	0	-1	-1	-1	+1	+1	+1	+1	+1	+1
8	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	0	-1	-1	+1	+1	+1	+1	+1	+1
9	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	0	-1	+1	+1	+1	+1	+1	+1
10	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	0	+1	+1	+1	+1	+1	+1
11	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	0	+1	+1	+1	+1	+1
12	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	0	+1	+1	+1	+1
13	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	0	+1	+1	+1
14	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	0	+1	+1
15	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	0	+1
16	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	0

† La lectura del cuadro se hace de manera horizontal: 0 significa que las alternativas son iguales, +1 significa que la alternativa tecnológica de la línea domina a la de la columna, y -1 significa que la alternativa tecnológica de la línea es dominada por la de la columna.

**Cuadro 12. Tecnologías de N, P y D determinadas, y los costos totales, rendimientos e ingresos netos esperados y tasas de retorno del capital total, para el agrosistema II.**

Método	Tecnología			Costo total	Rendimiento	Ingreso neto	Tasa de retorno
	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	D				
	kg ha <sup>-1</sup>	kg ha <sup>-1</sup>	pl ha <sup>-1</sup>		kg ha <sup>-1</sup>		
<b>1. Métodos determinísticos</b>							
Análisis factor-factor, para distintos niveles de rendimiento, para la condición media de precipitación (kg ha <sup>-1</sup> ):							
- 3200							
- 3000	137	67	45000	2096	3200	1104	0.53
- 2800	116	56	45000	1980	3000	1020	0.52
- 2600	101	48	45000	1897	2800	903	0.48
- 2400	89	41	45000	1828	2600	772	0.42
	77	35	45000	1764	2400	636	0.36
Matemático continuo, para la condición media de precipitación:							
- capital ilimitado							
- capital limitado, 3/4 del capital ilimitado	140	70	45000	2118	3233	1115	0.53
- capital limitado, 1/2 del capital ilimitado	110	50	45000	1935	2897	962	0.50
	75	20	40000	1681	2132	451	0.27
Matemático continuo, para diferentes niveles de riesgo:							
- 75% probabilidad de precipitación	135	65	45000	2081	3182	1101	0.53
- 50% probabilidad de precipitación	140	70	45000	2118	3233	1115	0.53
<b>2. Métodos no determinísticos†</b>							
Método de juegos estratégicos:							
- Criterio de Wald							
- Criterio de Laplace	120	60	40000	1998	3045	1047	0.52
- Criterio de Savage	140	70	45000	2118	3233	1115	0.53
- Criterio de Hurwitz	140	70	45000	2118	3233	1115	0.53
	140	70	45000	2118	3233	1115	0.53
Método de la media-varianza	Tecnologías 3,5,7,8,9,10,11, 12 y 13			-	-	-	-
Método de Hanoch-Levy	110	35	50000	1885	2673	788	0.42

† Los rendimientos e ingresos netos se calcularon para la condición media de precipitación.

tecnológica más eficiente según el método de Hanoch-Levy y, por tanto, es la alternativa a seleccionar.

Como puede observarse, el método de Hanoch-Levy selecciona una sola alternativa como la más eficiente, lo cual da una gran superioridad sobre el método de la media varianza, que seleccionó nueve alternativas tecnológicas como igualmente eficientes, y a las cuales habría que aplicar algún otro criterio para seleccionar la o las más eficientes de acuerdo con él.

### Comparación de los Métodos

En el Cuadro 12 se presentan las alternativas tecnológicas seleccionadas por los métodos considerados, tanto de tipo determinístico, como de tipo no determinístico, incluyendo los costos totales, rendimientos e ingresos netos esperados, y tasas de retorno del capital total, para el agrosistema II. En el caso de los métodos determinísticos con excepción del

análisis factor-factor, las tecnologías generadas se aproximaron a los múltiples de cinco más cercanos.

Entre los métodos determinísticos, el método de análisis factor-factor resulta apropiado para recomendar para niveles dados de rendimientos esperados, para condiciones medias de precipitación en este caso, con base en un mínimo costo, sin embargo, su utilización en agricultura de temporal en México no ha tenido mayor importancia, precisamente por las variaciones que presentan los rendimientos dentro de los agrosistemas, debido a variaciones climáticas de tipo aleatorio y a diferencias de manejo del cultivo entre agricultores. El método matemático continuo, para capital ilimitado, permite incluir el riesgo climático en la generación de las recomendaciones, a través de la distribución de probabilidades, de acuerdo con el nivel aceptado por el agricultor; por su parte, para capital limitado, considera las limitaciones de capital del agricultor, pero también implícitamente el riesgo que esté aceptando enfrentar para una inversión dada de capital. Ambas modalidades del método matemático continuo han sido utilizadas en México, usando para el caso de capital ilimitado la condición media climática cuando no se dispone de la respectiva distribución de probabilidades.

Entre los métodos no determinísticos, el método de juegos estratégicos dio para los criterios de Laplace, Savage y Hurwitz, recomendaciones iguales a las dadas por el método matemático para capital ilimitado bajo la condición climática media; en cambio, el criterio de Wald dio recomendaciones inferiores, lo que concuerda con su característica de pesimismo extremo de este criterio.

El método de la media-varianza, en la manera usada, no permitió la selección de una alternativa tecnológica única, y requiere de criterios adicionales para su uso. El método de Hanoch-Levy seleccionó una alternativa tecnológica relativamente baja, inferior a las seleccionada aún por el criterio de Wald dentro del método de los juegos estratégicos, de tal manera que es el método que estaría considerando en mayor medida el riesgo e incertidumbre en la generación de tecnología, y lo haría apropiado para agricultores más aversores al riesgo.

## CONCLUSIONES

Para la generación de recomendaciones tecnológicas de nitrógeno, fósforo y densidad de plantas para maíz de temporal en la región del Plan Comitán, Chiapas, resultan más apropiados los métodos, entre los determinísticos, el matemático continuo para capital ilimitado con inclusión del riesgo climático, de acuerdo con el nivel de riesgo aceptado por el agricultor, y entre los no determinístico, el método de Hanoch-Levy, para agricultores más aversores al riesgo.

## LITERATURA CITADA

- Anderson, J.R., J.L. Dillon y J. Hardaker. 1977. *Agricultural decision analysis*. Iowa State University Press. Ames, Iowa, USA.
- Buse, R.C. 1974. *Study guide for applied microeconomics*. Iowa State University Press. Ames, Iowa, USA.
- Colegio de Postgraduados. 1989. *El Plan Comitán: avances del ciclo 1988*. CEICADAR, Colegio de Postgraduados. Comitán, Chiapas.
- Cruz, E.R. 1984. *Riscos em modelos de decisao na agricultura*. Empresa Brasileira de Pesquisa agropecuaria (EMBRAPA). Departamento de Estudos e Pesquisas (DEP). Brasilia, D.F., Brasil.
- Fernández M., H. 1988. *El uso de diferentes criterios económicos para definir necesidades de fertilización y densidad de población en maíz: su aplicación para el caso de la Meseta Comiteca Chiapas*. Tesis de Maestría en Ciencias. Colegio de Postgraduados. Montecillo, Méx., México.
- Haddar, J. y W. R. Russel. 1969. *Rules of ordering uncertain projects*. *Am.Econ. Rev.* 59: 25-34.
- Hanoch, G. y H. Levy. 1970. *Efficient porifolio selection with quadratic and cubic utility function*. *Journal of Business* 43: 81-89.
- Lange, O. 1975. *Optimal decisions*. Principles of programming. Pergamon Press. Oxford, England.
- Montoya C., A.F. 1971. *Enfoques metodológicos para la toma de decisiones en agricultura de temporal: la aplicación de la teoría de juegos, el modelo de Bayes y la programación lineal, en una zona del Plan Puebla*. Tesis de Maestría en Ciencias, Colegio de Postgraduados. Chapingo, Méx., México.
- Porter, R.B. 1973. *An empirical comparison of stochastic dominance and mean-variance portfolio choice criteria*. *Jour. Financ. Quant. Anal.* 8: 587-608.
- Ventzel, E.S. 1980. *Investigación de operaciones*. Editora Mir. Mosui, URSS.
- Volke H., V. 1988. *Generación de tecnología agrícola bajo condiciones de riesgo*. Cuaderno de Edafología 12. Centro de Edafología, Colegio de Postgraduados. Chapingo, Méx., México.
- Volke H., V. 1990. *Metodología estadística y económica para la generación de tecnología en la agricultura*. Cuaderno de Edafología 16. Centro de Edafología, Colegio de Postgraduados. Montecillo, Méx., México.

# ANALISIS DE LAS POSIBILIDADES TECNICAS DE LA AUTOSUFICIENCIA SOSTENIBLE DE MAIZ EN MEXICO

## Analysis of the Technical Possibilities of Sustainable Self-Sufficiency of Corn in Mexico

Antonio Turrent Fernández<sup>1</sup>, Rodrigo Aveldaño Salazar<sup>2</sup> y Rodolfo Moreno Dahme<sup>1</sup>

### RESUMEN

Se presenta un análisis detallado de las posibilidades técnicas de alcanzar la autosuficiencia sostenible en la producción de maíz en México. Se ponderan los comportamientos promedio quinquenales de varios parámetros nacionales del proceso de producción de maíz, en los últimos cincuenta años, valorando la participación relativa de la superficie cosechada bajo riego; el rendimiento bajo riego; la superficie cosechada bajo temporal; y el rendimiento bajo temporal, durante los quinquenios en las que se alcanzó la autosuficiencia alimentaria, y cuando hubo dependencia alimentaria, en función del crecimiento de la población nacional. Se recalca la necesidad de examinar lo que podría ser la evolución de la oferta y de la demanda internacionales de maíz, así como su impacto probable sobre los precios del mercado mundial y nacional. Se realiza la proyección de la producción nacional de maíz bajo las suposiciones de que: (1) las superficies cosechadas de maíz bajo riego y temporal se estabilizan en 1.1 millones de hectáreas de riego y en seis millones de hectáreas de temporal; (2) se transfiere efectivamente la tecnología ya disponible; y (3) se continúa desarrollando nueva tecnología. La estimación es que para el quinquenio 1990-1994, la producción nacional habría sido de 25 millones de toneladas anuales de grano de maíz, y que en el quinquenio 2005-2009, la producción sería de 28 millones de toneladas anuales. Como prerequisites del desarrollo de ventajas comparativas para el cultivo de maíz se recomienda: (1) la transferencia inmediata de los avances tecnológicos actuales, a través de un sistema nacional de asesoría

agronómica especializada, y generar nuevos desarrollos tecnológicos; (2) lograr una reducción efectiva de los costos de comercialización del cultivo (acopio, almacenamiento, mermas, fletes); y (3) promover la regulación del costo financiero del capital y una mejoría en los servicios bancarios.

*Palabras clave:* Autosuficiencia sostenible.

### SUMMARY

A detailed analysis is made of the technical possibilities of obtaining a sustainable self-sufficiency in corn production in Mexico. The average quinquennial behavior of several national parameters of the process of national corn production, during the last fifty years, are evaluated, considering the relative participation of factors, such as, the area harvested under irrigation; yield obtained under irrigation; area harvested in rain-fed conditions; and yield harvested under rain-fed conditions, during the five-year periods during which Mexico was food self-sufficient, and the quinquennials in which food dependency prevailed, pondering the national population growth. National corn production is estimated for the following assumptions: (1) Areas harvested to corn will remain at 1.1 million hectares under irrigation and six million hectares under rain-fed conditions; (2) available corn production technology is effectively transferred; and (3) additional technological advance continues at historical rates. Estimated annual corn production are 25 million metric tons for the five-year 1990-1994, and 28 million metric tons for 2005-2009. The need to study the possible evolution of international supply and demand of corn, is stressed, as well as their probable impact on global and national market prices, and a description of the possibilities of improving present-day profitability of this crop is made, that would make the same more attractive for Mexican farmers. As prerequisites for the development of comparative advantages for corn production, it is considered that the following conditions must be met: (1) the

<sup>1</sup> Campo Experimental Valle de México, Texcoco, México. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales y Agropecuarias. INIFAP.

<sup>2</sup> Instituto Nacional de Investigaciones Forestales y Agropecuarias. México, DF.

Aceptado: Septiembre de 1996.

immediate massive transference of already available technological developments, through a national system of specialized agronomic advisers, and the further development of new technologies, (2) the obtention of an effective reduction in the marketing costs of the corn crop (concentration of harvests, storage, dockage, freight, rates); and (3) regulation of the financial cost of capital and improvement of the banking services.

*Index words: Sustainable self-sufficiency.*

## INTRODUCCION

Históricamente, el cultivo del maíz ha sido la fuente principal de empleo en el campo mexicano, y la tortilla elaborada a partir del maíz, el alimento básico de los mexicanos. En 1987, la tortilla suministró 59 % de la ingesta calórica y 39 % de la ingesta protéica de la dieta nacional (Bourges, 1992). Se estima que cada año, los productores mexicanos de maíz invierten alrededor de 15 mil millones de pesos en la producción de maíz, que en su mitad se destinan al pago de la mano de obra, por un monto del orden de 220 millones de jornales (Turrent, 1994e).

Durante un período de 22 años que concluyó en 1991, México hubo de importar anualmente alrededor de 2.1 millones de toneladas de grano de maíz para satisfacer el déficit entre la producción y el consumo nacionales (Salinas, 1991b). Sin embargo, a partir de 1992, los productores mexicanos lograron recuperar la autosuficiencia en grano de maíz, que sostuvieron durante tres años. Empero, parecería que este logro dependió más de la ampliación coyuntural de la superficie bajo riego dedicada al maíz, a costa de otros cultivos, que del aumento en los rendimientos de las tierras tradicionalmente maiceras.

En los próximos quince años, la población nacional aumentará desde los 93 millones de habitantes de la actualidad hasta 125 millones en el año 2010, según predicciones de FAO (1993). Este aumento en la población podrá acarrear un aumento concomitante de 39 % en la demanda de grano de maíz. Aunque el mercado internacional es en la actualidad fuente confiable y barata para satisfacer el déficit nacional previsible de ese grano básico, varios autores advierten del riesgo de que esas características cambien en un futuro no lejano.

Aún sin tales cambios, la reciente devaluación de la moneda nacional (21 de diciembre de 1994)

demuestra cómo factores de tipo interno (como la producción nacional de alimentos y la tasa de cambio), pueden interaccionar con el mercado internacional para generar situaciones de apremio nacional. Afortunadamente, la gran devaluación ocurrió en un año agrícola de autosuficiencia en maíz. Lo afortunado deriva de la protección automática que la autosuficiencia otorgó al país mientras que, en un período de 30 días, el maíz amarillo de tipo forrajero disponible en el mercado internacional y colocado en la ciudad de México, se encareció desde N\$ 450 hasta N\$ 670 por tonelada, en tanto que el maíz blanco tipo Kansas, que tiene un sobreprecio de 20 %, se encareció hasta N\$ 810. Esta variable clave del bienestar nacional no fue, afortunadamente, otro factor de apremio en la crisis de divisas e ingreso que experimentó el país en el primer trimestre de 1995.

El campo mexicano cuenta con los recursos de tierra y de mano de obra, actuales y potenciales, para autoabastecer de maíz a la nación, aun con niveles de población que serán típicos de la primera década del próximo siglo (Turrent, 1993). El mismo autor señala que será necesario desarrollar tal capacidad, a través de planes a plazo largo, que habrían de involucrar desarrollos en infraestructura, en tecnología, y en varios servicios (crédito, seguro, asesoría profesional, mercado, y otros). Es válido preguntarnos: (1) si el campo mexicano tiene la capacidad agronómica para sostener la autosuficiencia en maíz, mientras la población nacional crece a la tasa anual de 1.7 %; y (2) si es posible realizar esta tarea de manera rentable dentro del marco de globalización del mercado.

## EL ABASTECIMIENTO DE MAIZ EN MEXICO

Las tendencias del consumo aparente y de la producción nacional de maíz de los últimos cincuenta años, muestran cuatro etapas; la primera culmina en 1965, caracterizándose por una producción sensiblemente equivalente al consumo aparente. La segunda etapa, caracterizada por una producción mayor al consumo aparente, ocurre en la segunda mitad de la década de los años 60; durante este período, se exportó un poco más de un millón de toneladas anualmente (Salinas, 1991b). En estas dos etapas prevaleció la política de fomento a la producción que se conoce como "Ampliación de la Frontera Agrícola". La tercera etapa, que dura

21 años, se extiende desde 1970 a 1991; y se caracteriza por un déficit entre la producción y el consumo aparente, que promedió 2.1 millones de toneladas anuales. Este déficit fue cubierto con importaciones. En la cuarta etapa, a partir de 1992, el país recuperó sensiblemente la capacidad de autoabastecerse de maíz.

En la Figura 1 se muestran las tendencias atrás citadas, si bien, expresadas como promedios quinquenales. Se aprecia también en esta gráfica la tendencia de la superficie cosechada de maíz en los últimos 50 años. En el año agrícola de 1966 (del quinquenio 1966 a 1969) se alcanzó la máxima superficie cosechada de maíz, que fue de 8.29 millones de hectáreas. A partir de entonces y hasta finales de la década de los 80 (quinquenio 1985 a 1989), la superficie cosechada de maíz disminuyó consistentemente con una tasa de 0.6 % anual; a la vez que la producción nacional de maíz experimentaba un aumento.

En el Cuadro 1 se muestran los comportamientos promedio quinquenales de varios parámetros nacionales del proceso de producción de maíz en los últimos cincuenta años. Como se aprecia en el Cuadro 1, la reducción general en la superficie total cosechada a partir del quinquenio 1965 a 1969, es el efecto neto de una reducción en la superficie cosechada de temporal y de un aumento en la superficie

cosechada bajo riego. A la vez, los rendimientos de grano obtenidos bajo temporal y bajo riego aumentaron consistentemente. Se aprecia también en el Cuadro 1, que los rendimientos bajo riego son apreciablemente mayores que los obtenidos bajo temporal, si bien, que operan los primeros sobre una superficie sustantivamente menor que los segundos.

Es conveniente valorar la participación relativa de los cuatro factores: (a) superficie cosechada bajo riego; (b) rendimiento bajo riego; (c) superficie cosechada bajo temporal; y (d) rendimiento bajo temporal, sobre la evolución de la producción nacional de maíz. La información del Cuadro 2 es pertinente a dicha valoración. Durante el período en que se aplicó la política de "Ampliación de la Frontera Agrícola", (quinquenio 1950 a 1954 a quinquenio 1965 a 1969), la producción anual nacional de maíz aumentó en 5265 mil toneladas, respecto a lo producido al inicio. El aumento a la tasa anual de 3.3 % en la superficie cosechada bajo temporal en este período, explica casi la mitad del aumento en la producción anual nacional de maíz: 2593 miles de toneladas, mientras que el incremento en los rendimientos de temporal (tasa anual de 2.5 %) explica el aumento adicional de 1926 mil ton (37 %). Los aumentos (a las tasas anuales de 5.4 % y 4.1 %, respectivamente) de los factores superficie cosechada y rendimiento bajo riego, fueron poco relevantes (8 % y 6 %, respectivamente).

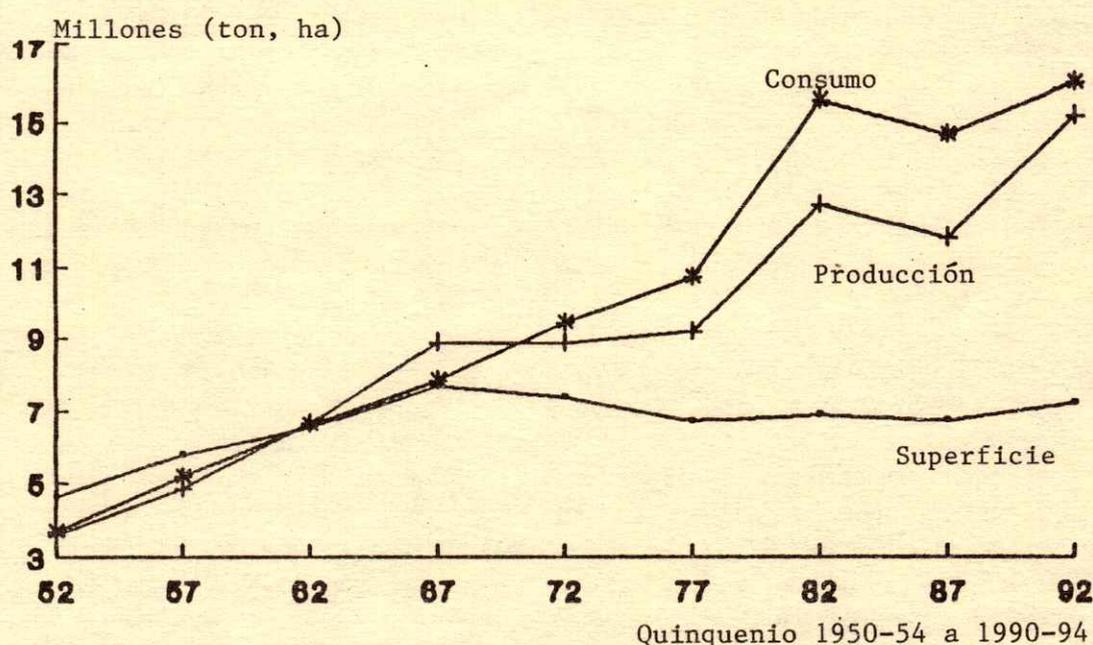


Figura 1. Superficie, producción y consumo aparente de maíz en México.

**Cuadro 1. Comportamiento de la producción de grano, consumo aparente, superficie cosechada y rendimiento de maíz en la República Mexicana, durante los quinquenios 1950-1954 hasta 1990-1994.**

Quinquenio	Producción	Consumo aparente†	Superficie cosechada			Rendimiento		
			Riego	Temporal	Total	Riego	Temporal	Total
	miles t	miles t	miles ha	miles ha	miles ha	t ha <sup>-1</sup>	t ha <sup>-1</sup>	t ha <sup>-1</sup>
Motor: Ampliación de la Frontera Agrícola, con autosuficiencia.								
1950-1954	3591.5	3711.4	205.9	4414.2	4620.1	1.21	0.76	0.78
1955-1959	4842.4	5188.6	258.0	5225.7	5783.7	1.41	0.81	0.84
1960-1964	6665.5	6637.1	409.1	6119.2	6528.3	1.81	0.97	1.02
1965-1969	8856.8	7836.1	453.7	7225.4	7679.1	2.20	1.09	1.15
Motor: Ciencia y Tecnología, con dependencia alimentaria.								
1970-1974	8869.0	9451.1	510.8	6838.6	7349.4	2.41	1.12	1.21
1975-1979	9198.4	10740.4	837.4	5906.8	6743.8	2.59	1.19	1.37
1980-1984	12733.4	15626.0	987.8	5926.8	6914.6	2.97	1.65	1.84
1985-1989	11770.7	14726.4	911.2	5845.2	6756.4	3.15	1.52	1.74
Motor: Ciencia y Tecnología, con autosuficiencia alimentaria.								
1990-1994	15881.1	16080.6	1265.2	5968.2	7233.3	4.00	1.81	2.21

† Ignora las existencias de grano al inicio de cada año.

Fuentes: (1) Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos. 1977. (2) Salinas de Gortari (1991b). (3) SARH. Anuarios estadísticos de la producción agrícola de los Estados Unidos Mexicanos. Dirección General de Estadística (México, D.F.).

Durante el período de dependencia del exterior (quinquenios 1970 a 1974 hasta 1985 a 1989), la producción anual nacional de maíz creció a la tasa anual de 1.5 %, acumulando una diferencia de 2911 mil toneladas respecto de su inicio, mientras que el consumo nacional aparente creció a la tasa anual de 3.2 %, acumulándose una diferencia de 6890 mil toneladas, hacia el final del período. El incremento en la producción anual nacional de 2911 mil ton fue producido por los siguientes factores en orden decreciente de impacto: (1) el incremento a la tasa anual de 1.7 % de los rendimientos bajo temporal, explica 2843 mil ton; (2) el incremento en la superficie bajo riego (tasa anual de 3.5 %) explica el incremento de 1223 mil ton en la producción anual; (3) el incremento en el rendimiento bajo riego (tasa anual de 1.8 %) explica 647 mil ton; y (4) la contracción de la superficie cosechada bajo temporal (tasa de -1.1 % anual) explica la pérdida de 1802 mil ton. Las interacciones entre factores son de magnitud pequeña. Este período podría ser considerado como de contracción en la "Frontera Agrícola", por el efecto neto resultante de la reducción en la superficie cosechada de temporal y el incremento en la superficie cosechada bajo riego que alcanzó a ser de -579 mil ton anuales, aún cuando hubo incrementos en los rendimientos bajo temporal y riego, y un efecto combinado de 3490 mil ton anuales. Por lo tanto, el motor del incremento en la producción, en este segundo período, fue principalmente el cambio tecnológico.

En el período reciente (1985-1989 a 1990-1994), el campo mexicano se acercó sensiblemente a la meta de la autosuficiencia alimentaria para el país. Se logró incrementar la producción anual promedio con una tasa anual de 6.1 %, que acumuló 4110 mil ton de grano anuales (hacia el final del período). Este incremento es atribuible a los siguientes factores en orden decreciente de sus efectos: (1) el incremento del rendimiento bajo temporal a la tasa anual de 3.5 %, produjo un incremento de 1713 mil ton anuales; (2) el incremento al 6.8 % de la superficie de riego cosechada, contribuyó con un incremento de 1265 mil ton anuales; (3) el incremento del rendimiento bajo riego a una tasa anual de 5.0 % produjo un aumento de 927 mil ton anuales; (4) el incremento de la superficie cosechada bajo temporal a la tasa del 0.5 % aportó 205 mil ton anuales. En resumen, el incremento combinado por concepto de "Avance Tecnológico" (rendimientos mayores bajo temporal y riego) es de 2640 mil ton, en tanto que el asociado con la "Ampliación de Frontera" (principalmente en superficie de riego) es de 1470 mil ton anuales. En este período, el motor del incremento en la producción de grano de maíz es de origen más bien "Tecnológico" que de "Frontera".

Se estima que la población nacional se incrementará desde los 93 millones de habitantes que existen en la actualidad, hasta 125 millones en el año 2010 (FAO, 1993). Esto implicaría un incremento del orden de 39 % en la demanda de maíz, si se supone lo

**Cuadro 2. Efectos de los cambios en las superficies cosechadas y los rendimientos bajo riego y bajo temporal, sobre la producción anual promedio de grano de maíz, por quinquenios, en la República Mexicana, en el periodo de 1950 a 1994.**

Característica	Magnitud del cambio en tres periodos		
	1950-54 a	1965-69 a	1985-89 a
	1965-69	1985-89	1990-94
Incremento en la producción nacional anual (miles de t)†	+5265	+2911	+4110
<b>Efectos factoriales‡</b> (miles de t)			
S <sub>r</sub>	+ 422	+1223	+1265
R <sub>r</sub>	+ 325	+ 647	+ 927
S <sub>r</sub> XR <sub>r</sub>	+ 122	+ 217	+ 151
S <sub>t</sub>	+2593	-1802	+ 205
R <sub>t</sub>	+1926	+2843	+1713
S <sub>t</sub> XR <sub>t</sub>	+ 465	- 300	+ 18
<b>Tasas anuales de incremento o de decremento+ (%)</b>			
1. Superficie bajo riego	5.4	3.5	6.8
2. Superficie bajo temporal	3.3	(1.1)	0.5
3. Superficie total	3.5	(0.6)	1.5
4. Rendimiento bajo riego	4.1	1.8	5.0
5. Rendimiento bajo temporal	2.5	1.7	3.5
6. Rendimiento total	2.7	2.2	4.9
7. Producción nacional de grano de maíz	6.2	1.5	6.1
8. Consumo nacional aparente	5.1	3.2	1.9

† Incremento en la producción anual al final del periodo, respecto del principio.

‡ Se trata de efectos sobre la producción nacional de grano de maíz. S<sub>r</sub> es el efecto principal del cambio en la superficie bajo riego dentro del periodo; R<sub>r</sub> es el efecto principal del cambio en el rendimiento de maíz bajo riego; S<sub>r</sub>XR<sub>r</sub> es la interacción correspondiente; S<sub>t</sub> y R<sub>t</sub> se refieren al cultivo de maíz bajo temporal.

+ Valores promedio para el periodo involucrado. Cuando se trata de un decremento, la tasa se encierra entre paréntesis.

necesario. El consumo aparente nacional se incrementaría hasta 22335 mil ton anuales en el año 2010 y para poder sostener la autosuficiencia, la producción anual de maíz, como la población nacional, habría de aumentar a la tasa anual promedio del 1.7%. Una solución numérica posible, sugiere que si las superficies cosechadas de maíz se fueran alrededor de 1100 mil ha bajo riego y de 6000 mil bajo temporal en este periodo, los rendimientos bajo temporal tendrían que aumentar a una tasa anual de 1.5% (para llegar al nivel de 2.5 ton ha<sup>-1</sup>), en tanto que, los rendimientos bajo riego habrían de aumentar a la tasa anual de 2.8%, (para alcanzar rendimientos de 7 ton ha<sup>-1</sup>). Esta solución presupone una prolongación del periodo en el cual el cambio tecnológico sea el motor del incremento en la producción nacional, sin implicar el

reordenamiento de la superficie actualmente destinada al maíz.

Las series históricas recién analizadas sugieren que lo que se requeriría de los productores de maíz, en términos de avance tecnológico adicional, para sostener la autosuficiencia, no es diferente de lo que ellos ya han logrado en el pasado reciente, cuando cuentan con crédito y asistencia técnica oportuna y adecuada.

La participación de México en el Tratado Norteamericano de Libre Comercio (TLC) prevé la desregulación gradual del mercado regional de maíz durante los 15 años a partir de 1994 (SARH, 1992a). Según lo acordado, al inicio del año 2009, los países signatarios habrán eliminado los aranceles para comercializar el grano de maíz dentro de la región. El precio del maíz en el mercado será un reflejo fiel del precio internacional y de los costos de internación al país. En esas circunstancias, los productores mexicanos de maíz tendrían que ser compensados con un subsidio equivalente al recibido por los productores homólogos de la Unión Americana y de Canadá.

Es necesario examinar lo que podría ser la evolución de las condiciones de la oferta y la demanda internacionales del maíz, así como su impacto probable sobre los precios del mercado global. También es necesario examinar las posibilidades de mejorar la rentabilidad actual del cultivo del maíz en México, a fin de que sea atractivo para los productores nacionales.

## PERSPECTIVAS DEL MERCADO MUNDIAL DE CEREALES

Según FAO (1993), la población mundial alcanzará las cifras de 6228, 7150, y 8473 millones de habitantes en los años 2000, 2010 y 2025, respectivamente. En los que actualmente se clasifican como países en desarrollo, vivirán 78.6%, 80.3% y 82.5% de aquellas poblaciones. La misma fuente destaca que si bien la humanidad mantiene autosuficiencia en los cereales que requiere para su alimentación y para varios otros usos, los países en desarrollo (PED), dependieron de manera creciente de los países desarrollados (PD), para complementar sus demandas de cereales en las tres últimas décadas. Tal dependencia fue de 4.2% de 1969 a 1971, de 10.2% de 1979 a 1981, y ascendió a 10.6% de 1988 a 1990.

Varios autores advierten que todos los productores agrícolas del mundo y los gobiernos de sus países habrán de realizar el mayor esfuerzo para asegurar que las casi 1500 millones de hectáreas de tierras de labor del mundo, produzcan los alimentos que demandará la humanidad en rápido crecimiento (Borlaug y Dowsell, 1994; FAO, 1993; World Resources Institute, 1990). También advierten que solamente si los productores de los países en desarrollo (PED), (México entre ellos) participan en la carrera de la producción de alimentos, podrán conjurar la amenaza de hambrunas futuras, que sobre muchos de estos se cierne. Para estos autores, la seguridad alimentaria ha de continuar siendo la primera prioridad de la humanidad, hasta en tanto se logre estabilizar la población mundial.

Esta advertencia contradice claramente a la posición sostenida por los PD productores-exportadores de cereales, que preconizan la teoría de las ventajas comparativas la cual, obviamente, les rendiría la ampliación confiable de sus mercados de cereales. La aplicación a ultranza de tal teoría en los PED, implicaría para muchos reducir su producción de cereales, bajo la suposición de que podrían comprarlos en el mercado mundial. Los supuestos obvios son que habría esos cereales disponibles en el mercado, y que los PED podrían exportar competitivamente otros productos en los que sí tuvieran ventajas comparativas.

En el Cuadro 3 se presenta la proyección de FAO sobre la producción y el comercio de todos los cereales, para el año 2010. Según esta fuente, los PED incrementarán en relación con los cereales: (a) su producción en 55 %, (b) su superficie de siembra en 17.5 % y (c) sus rendimientos en 34 %. También se proyecta que los PD incrementarán su producción de cereales en 21 %. Finalmente, se proyecta que los PED, que en 1990 compraron 90 millones de ton de cereales a los PD, comprarán 162 millones de ton en el año 2010.

Es fácil aceptar como razonable la predicción respecto a los PD, en donde históricamente se ha apoyado al sistema de ciencia y tecnología y al desarrollo rural, con políticas de alta calidad. Tales países incrementarán su producción de cereales si así conviene a sus intereses. En cambio, parece poco probable que en los PED se cumpla la predicción del incremento en la producción, por las razones opuestas a lo que bien se hizo en los PD.

**Cuadro 3. Comportamiento en el trienio 1988-1990 y proyección al año 2010 de la producción y el comercio de todos los cereales en el mundo.**

Comportamiento	Países desarrollados (PD)	Países en desarrollo (PED)
	- - - - millones de t - - - -	
Producción		
1988-1990	850	847
2010	1028	1314
Consumo interno		
1988-1990	791	931
2010	866	1476
Comercio neto		
1988-1990	92.5	- 90
2010	162	-162

Fuente: FAO, 1993. Pág. 106.

A diferencia de lo que ocurre con las proyecciones sobre la producción de cereales, hay gran certidumbre en las proyecciones hechas sobre el crecimiento de la población mundial, y de ahí que también la haya sobre el crecimiento asociado en la demanda de alimentos.

Lo que aquí se examina parece sugerir que, en los próximos 15 años, habría escasez relativa de cereales en el mercado mundial, y un entorno propicio al incremento en sus precios. Dos factores adicionales que podrían presionar los precios a la alza serían, según Barkin (1993): (1) la posibilidad de que los PD usen una fracción de sus cereales como insumos para producir energía renovable; y (2) la creciente regulación para la protección ambiental en los PD, que encarecerá la producción agrícola.

La crisis económica por la que atravesó México en la primera parte del año de 1995, y que condujo a la primera gran devaluación del nuevo peso, fue menos penosa para el país al darse durante el período de autosuficiencia en maíz. La historia de México es pródiga en demostraciones de la íntima asociación entre la disponibilidad del alimento básico nacional y la estabilidad política. Tal es una lección recurrente que no debe olvidarse. Tampoco debe descartarse para lo futuro, la posibilidad del regreso de las políticas de manipulación internacional basadas en la posesión de alimentos, que fue típica del período de la guerra fría.

Es válida la pregunta de si es el campo mexicano capaz de surtir el maíz que demandará el país en el futuro no lejano, dentro del contexto de competitividad planteado en el TLC, y cuales son sus prerequisites.

## POSIBILIDADES TECNICAS DE INCREMENTAR LA PRODUCCION DE MAIZ

Bajo el patrocinio del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales y Agropecuarias (INIFAP) y del Colegio de Postgraduados (CP), nuestro grupo de investigación ha estudiado las posibilidades técnicas de aumentar la producción de maíz que tiene el campo mexicano, sin cambiar el uso actual de la tierra. Estos estudios han incluido: (1) la estimación del potencial productivo actual; (2) la clasificación de las tierras dedicadas actualmente al maíz, según cinco Provincias Agronómicas de Maíz (PAM) de temporal y una de riego; (3) la medición de los rendimientos alcanzables con la tecnología disponible para tres PAM, al nivel nacional; (4) el nivel de conocimiento tecnológico sobre maíz del personal del servicio de asistencia técnica oficial; (5) el desarrollo de herramientas y protocolos para la asesoría agronómica especializada en maíz; y (6) la proposición de un plan para incrementar rentablemente la producción nacional de maíz. A continuación se discutirán brevemente los resultados sobresalientes de estos estudios.

### Estimación del Potencial Productivo de Maíz, del Campo Mexicano

Se recopiló información de: (1) 2545 experimentos de campo conducidos durante 30 años (de 1951 a 1980) por trece instituciones nacionales y regionales de investigación y enseñanza; (2) los censos agrícola, ganadero y ejidal de 1970; (3) las estadísticas de la SARH; y (4) las cartas climáticas y edáficas de la República Mexicana. Esta información fue integrada en 72 Agrosistemas (Turrent, 1976) de maíz de temporal, y un Agrosistema de maíz de riego. Los Agrosistemas de temporal fueron definidos por la combinación factorial de seis estratos del cociente de la precipitación y la evaporación; de tres estratos por la temperatura media, de dos estratos por la profundidad del suelo; y de dos estratos por la pendiente superficial. En el Cuadro 4 se presenta la síntesis de los resultados (Turrent, 1986).

Se aprecia en el Cuadro 4 que, de acuerdo con este estudio, de haberse aprovechado la tecnología para maíz disponible en 1977, la producción nacional de maíz hubiera sido un poco mayor que 20 millones de toneladas, en tanto que la producción obtenida en ese año fue de sólo la mitad de esa cifra. También se

**Cuadro 4. Comportamiento observado y potencial del campo mexicano en la producción de maíz, en 1977 y 1993.**

Concepto	Año 1977		Año 1993†	
	Observado	Potencial	Observado	Potencial
Producción anual				
(mill t)	10.14	20.17	18.13	21.59
Riego	2.43	4.41	7.70	8.00
Temporal	7.71	15.76	10.42	13.22
Superficie cosechada (mill ha)	7.47		7.42	
Riego	0.98		1.66	
Temporal	6.49		5.76	
Rendimiento (t ha <sup>-1</sup> )	1.36	2.70	2.44	2.91
Riego	2.48	4.82	4.62	4.82
Temporal	1.19	2.36	1.81	2.36

† Fuente: Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos, 1994.

proyecta en este estudio que el rendimiento promedio nacional de maíz podría ser igual a 2.70 ton ha<sup>-1</sup>, siendo de 4.82 ton ha<sup>-1</sup> bajo riego, y de 2.36 ton ha<sup>-1</sup> bajo temporal. Esta predicción fue considerada como "demasiado optimista" en los años que siguieron a su divulgación. Sin embargo, los resultados observados quince años después, en el año agrícola de 1993, son consistentes con lo previsto en el estudio que se cita. La producción nacional de maíz en 1993 fue de 18.1 millones de ton y los rendimientos observados fueron de 2.44 t ha<sup>-1</sup> como promedio nacional, 4.62 t ha<sup>-1</sup> bajo riego y 1.81 t ha<sup>-1</sup> bajo temporal (SARH, 1994).

### Clasificación de las Tierras Maiceras

Se hizo un ejercicio de agregación de los 72 Agrosistemas de temporal definidos en el estudio anterior, hasta cinco Provincias Agronómicas de maíz (PAM) de temporal, según se define en el Cuadro 5 (Gonzalez *et al.*, 1991). Estos autores proponen que el cultivo de maíz en las tierras de la PAM de "Muy Buena Productividad" tendría la máxima probabilidad de éxito, tanto por el alto rendimiento alcanzable, como por el bajo riesgo de daño por sequía. Tal es así porque llueve entre 0.9 y dos veces lo que se evaporaría de una superficie libre de agua, y los suelos son profundos. La PAM de "Buena Productividad" tiene el demérito que derivaría de excesos de lluvia. La PAM de "Mediana Productividad" tiene como demérito respecto a la PAM de Muy Buena Productividad, un riesgo medio de daño por sequía, que deriva de: (a) una menor disponibilidad de agua de lluvia; o (b) de un menor espesor del suelo. Como se verá más adelante, esta PAM predomina en el

**Cuadro 5. Definición de cinco Provincias Agronómicas de Maíz bajo temporal.**

Provincia agronómica	Cociente de P/E†	Espesor del suelo‡
Muy buena productividad	0.9 a 2.0	profundo
Buena productividad	> 2.0	profundo y delgado
Mediana productividad	0.5 a 0.9	profundo
Baja productividad	0.7 a 2.0	delgado
	< 0.5	profundo
	0.5 a 0.7	delgado
Tierras marginales	< 0.5	delgado

† Cociente de la precipitación media de junio a septiembre, entre la evaporación media del mismo período.

‡ Se considera profundo al suelo con espesor mayor que 1 m; delgado es el suelo con espesor comprendido entre 10 cm y 1 metro. Se excluye de esta clasificación a los litosoles (espesor menor que 10 centímetros).

campo mexicano. Las PAM de "Baja Productividad" y de "Tierras Marginales" tienen riesgos severo y crítico de pérdida de la cosecha debido a la sequía.

En el Cuadro 6 se presentan las superficies cosechadas de maíz, en cada una de las PAM de temporal y bajo riego, en los 32 estados de la República. Cabe advertir que las superficies cosechadas de maíz, presentadas en este cuadro, reflejan el uso de la tierra de la década de los años 80. En la segunda columna de este cuadro se presenta la suma de las superficies cosechadas bajo riego y bajo temporal, en las PAM de Muy Buena y de Buena Productividad. Tal sería la magnitud del mejor recurso tierra dedicada al maíz en cada estado y en el país. Hay un poco más de 2.7 millones de ha de tal calidad en el campo mexicano. Los estados se ordenaron de manera decreciente según esta variable. El siguiente estrato, en cuanto a calidad, corresponde a la PAM temporal de Mediana calidad, que supera en extensión al primer estrato. Los estados de Jalisco, México y Guerrero ocupan los tres primeros lugares en orden decreciente a este segundo estrato. Los estados de Zacatecas, Chihuahua y Durango sobresalen por su superficie dedicada al maíz dentro de las PAM menos productivas (Baja Productividad y Tierras Marginales).

A partir de 1991 se registró un cambio brusco en el uso de la tierra de riego, en respuesta a las políticas macro-económicas del país. Desde 1990, la superficie total cosechada de maíz revirtió la tendencia histórica al decrecimiento, para ubicarse en 7.34 millones de ha, y en 1993 en 7.43 millones de ha, de las que 1.66

millones lo fueron de riego y 5.76 de temporal. El estado de Sinaloa se convirtió en el primer productor nacional de maíz en 1993, al cosechar 346.6 mil ha de maíz bajo riego con rendimiento promedio de 7 t ha<sup>-1</sup> (SARH, 1994). En gran medida, la evolución del uso de la tierra de riego en el futuro cercano y, en menor medida, la del uso de la tierra de temporal, continuará reflejando las políticas macroeconómicas del país.

### Medición de los Rendimientos de Maíz en Tres PAM

Durante 1987 a 1989, un grupo de 220 investigadores del INIFAP, colaboró con nuestro grupo de investigación, para medir en el campo y a escala nacional, el rendimiento de maíz que podía alcanzarse con el uso de la tecnología desarrollada por los investigadores de maíz del INIFAP, durante la década de los años 80. Este proyecto fue conocido como el Programa Nacional de Maíz de Alta Tecnología (PRONAMAT). Tal ejercicio era requerido en virtud de que el estudio sobre el potencial productivo de maíz, previamente citado (Turrent, 1986), involucraba el uso de tecnología desarrollada antes de los años 70, que se conjeturaba habría sido ampliamente rebasada. La revisión de tipo puntual de los experimentos convencionales sobre maíz conducidos en terrenos de productores cooperantes en los años 80, sugería que las medias nacionales de los rendimientos podrían acercarse a: (1) 6 t ha<sup>-1</sup> bajo riego; (2) 4.5 t ha<sup>-1</sup> en la PAM de temporal de Muy Buena Productividad (MBP); (3) 4 t ha<sup>-1</sup> en la PAM de Buena Productividad (BP); y (4) 3.5 t ha<sup>-1</sup> en la PAM de Mediana Productividad (MP). Tales cifras contrastaban con los rendimientos estimados en el estudio sobre el potencial productivo de maíz previamente citado, que eran de 4.82 t ha<sup>-1</sup> para riego; 3.16 t ha<sup>-1</sup> para MBP; 2.66 t ha<sup>-1</sup> para BP; y 2.49 para la PAM de MP (Turrent, 1986).

Decidimos cotejar la hipótesis de los mayores rendimientos, inicialmente en las PAM de riego y en MBP y BP de temporal. El cotejo de la provincia MP se realizaría a partir de 1990. En el ciclo primavera-verano de 1988 se inició el cotejo en la PAM de riego, continuándose en 1989; el cotejo de las provincias de temporal MBP y BP se realizó solamente en 1989. La metodología experimental consistió en la conducción de un módulo ubicado al azar, por cada 2000 ha comerciales de maíz. Serían 450 módulos en cada una de las PAM de riego, MBP y BP, y 1550 módulos para

Cuadro 6. Superficies de maíz en miles de ha cosechadas anualmente bajo riego y en cinco Provincias Agronómicas de temporal en los estados de la República Mexicana.

Estado	Riego y temporal†	Riego	PAM de temporal con productividades ‡				TM	Sumas
			Mbuena	Buena	Mediana	Baja		
----- miles de ha -----								
Veracruz	410.3	0	162.6	247.7	86.4	0.8	0	497.5
Chiapas	345.9	13.2	103.4	229.3	194.4	0	0	540.3
México	279.3	119.7	89.4	70.2	302.1	30.6	0.5	612.5
Tamaulipas	228.4	213.0	11.7	3.7	63.6	9.2	4.1	305.3
Puebla	218.5	44.3	130.1	44.1	208.1	49.2	15.6	491.4
Michoacán	183.9	67.6	114.5	1.8	229.9	7.1	0	420.9
Jalisco	149.7	44.5	60.3	44.9	590.3	70.5	16.1	826.6
Oaxaca	125.6	27.6	19.8	78.2	179.8	51.1	9.0	365.5
Guerrero	122.9	23.3	71.5	28.1	276.3	0	0	399.2
Hidalgo	93.2	52.9	12.2	28.1	66.3	46.2	6.9	212.5
Guanajuato	59.6	51.3	8.3	0	184.8	35.4	16.8	296.6
San Luis Potosí	55.1	23.1	8.8	23.2	29.4	28.1	21.6	134.2
Tlaxcala	52.1	15.3	36.8	0	82.8	0.4	0	135.3
Tabasco	47.7	0	5.1	42.6	3.5	0	0	51.2
Sonora	39.5	39.5	0	0	0.5	1.2	0.6	41.8
Durango	39.5	39.1	0.4	0	11.2	33.0	82.0	165.7
Sinaloa +	32.6	29.8	2.8	0	37.5	17.1	0.7	87.9
Nayarit	30.5	0	17.6	12.9	42.9	0	0	73.4
Chihuahua	30.2	30.2	0	0	90.7	75.1	56.9	252.9
Morelos	29.4	7.7	20.8	0.9	15.5	0	0	44.9
Zacatecas	23.6	23.6	0	0	107.1	139.3	102.2	372.2
Campeche	21.4	0	6.1	15.3	22.2	0	0	43.6
Nuevo León	20.5	20.5	0	0	13.3	11.7	8.9	54.4
Querétaro	19.0	16.1	2.9	0	24.6	36.1	0.8	80.5
Coahuila	16.7	16.7	0	0	0.8	7.8	7.3	32.6
Colima	13.5	6.3	4.5	2.7	21.6	2.0	0	37.1
Aguascalientes	8.2	8.2	0	0	0.9	31.7	9.9	50.7
Baja California Norte	4.3	4.3	0	0	0	0.1	0	4.4
Yucatán	4.2	0	4.2	0	121.7	0.1	0	125.9
Quintana Roo	4.1	0	3.1	1.0	99.3	0	0	103.4
Distrito Federal	2.2	0	2.2	0	9.4	0.6	0	12.2
Baja California Sur	0	0	0	0	0	0	0	0
Total	2711.6	937.8	899.1	874.7	3116.9	684.3	359.9	6872.7

† Se suman las superficies bajo riego y bajo buen temporal: las PAM de Muy buena y de Buena productividad.

‡ Mbuena significa Muy Buena; TM son Tierras Marginales.

+ Desde 1991 las superficies de maíz bajo riego han aumentado radicalmente a costa de otros cultivos bajo riego. En 1993 se cosecharon 346 592 ha en Sinaloa; 262 675 ha en Tamaulipas; 155 568 ha en Guanajuato; 105 088 ha en Sonora; y 132 677 ha en Chihuahua; como casos sobresalientes.

MP, con distribución estatal proporcional a la superficie de cada PAM (Cuadro 6).

El módulo incluyó una parcela PRONAMAT con magnitud mínima de 1 ha y cuatro predios vecinos en los cuatro puntos cardinales, con ubicación por coordenadas al azar. La parcela PRONAMAT fue atendida directamente por el personal científico del INIFAP, en coordinación con el productor cooperante, quien accedió a financiar la parcela. Se registró el manejo tecnológico seguido por los cuatro productores vecinos hasta la medición de su rendimiento. Se trató de no influir sobre las decisiones tecnológicas de estos

productores vecinos. El contraste entre los desempeños técnicos de la parcela PRONAMAT y las vecinas, aportaría información pertinente al cotejo experimental. Se obtuvieron los nombres de cuatro productores adicionales de maíz, a partir de cada uno de los cinco productores del módulo, con el objetivo de integrar una lista de productores de maíz, para fines de realizar encuestas sobre las tecnologías en uso.

No fue posible realizar el proyecto PRONAMAT con la intensidad de muestreo programada, por razones de escasez de recursos; tampoco se pudo continuar con el proyecto durante 1990, por lo que no se recabó la

**Cuadro 7. Rendimientos promedio de maíz bajo dos tipos de tecnología y números de predios incluidos en riego y en dos Provincias Agronómicas de temporal en la República Mexicana, en 1988 y 1989.**

Provincia Agronómica†	Rendimientos bajo dos tecnologías‡		
	PRONAMAT	Vecinos	Diferencia
	----- t ha <sup>-1</sup> -----		
Riego	6.15 (313)	3.63 (730)	2.52
Temporal MBP y BP	4.10 (201)	2.88 (567)	1.22

† Se presentan juntas las PAM de temporal MBP y BP.

‡ Entre paréntesis el número de predios involucrados en cada caso.

medida de los rendimientos de maíz en la PAM de MP. En el Cuadro 7 se muestra la síntesis de los resultados obtenidos en 15 estados de la República, en cuanto a los rendimientos de maíz. Cabe mencionar que la PAM de riego habría de ser replanteada para dar lugar a dos PAM por lo menos, según que se tratara de riego completo, o de riego incompleto. Así, en el Altiplano del país es común el régimen conocido localmente como "Punta de Riego", en el que el productor dispone de riego, solamente para la siembra, completándose el resto del ciclo bajo condiciones de temporal. El rendimiento medio nacional de maíz bajo riego completo es claramente mayor que bajo el régimen de riego incompleto. Desafortunadamente, las estadísticas nacionales no distinguen esta diferencia.

Como se aprecia en el Cuadro 7, los rendimientos medios nacionales de maíz alcanzables con la tecnología ya disponible para riego y para temporal en las PAM de MBP y BP, difieren en poco de lo previsto en la hipótesis en cotejo. En promedio, los rendimientos de los vecinos fueron ampliamente superados por los rendimientos obtenidos con la tecnología del INIFAP. Un ejercicio aritmético sugiere que el desuso de la tecnología del INIFAP por parte de los productores en las tres PAM bajo cotejo, implicó en 1988 y 1989, un desabasto de maíz mayor que 4.5 millones de ton anuales, al nivel nacional (Cuadros 6 y 7).

La información, contenida en el Cuadro 8, ayuda a entender algunos de los porqués de las diferencias observadas en los rendimientos, entre las parcelas PRONAMAT y las parcelas de los vecinos. La información fue recabada de 4877 productores que cultivaron maíz en tierras de las PAM de riego y de MBP y MP en 15 estados de la República en 1989. El

manejo de todas las parcelas PRONAMAT incluyó el uso de semillas certificadas, de fertilizantes nitrogenado (N) y fosfórico (P), y asistencia técnica. En cuanto a las parcelas vecinas: (1) sólo en 42 % se usó semillas mejoradas; (2) en 86 % se fertilizó con N; (3) en 64 % se fertilizó con P; y (4) sólo en 42 % se recibió asistencia técnica. Al usar como ejes ordenadores de cuatro variables tecnológicas al régimen hídrico, a la tenencia, al propósito de la producción, y al tamaño del predio, sobresale que: (1) la frecuencia en el uso de fertilizantes parece estar solamente asociada, si bien tenuamente, al propósito de la producción y al tamaño del predio; en cambio, el uso de semilla mejorada y la frecuencia de la asistencia técnica se asoció con tres ejes ordenadores. El eje tenencia de la tierra no influyó sobre alguna de las cuatro variables tecnológicas consideradas. Sólo 9 % de los productores de maíz incluidos en el estudio tenía educación superior a la básica. Los cuatro ejes ordenadores mostraron claras asociaciones con las frecuencias de educación superior a la básica y con la experiencia en bracerismo.

#### Nivel de Conocimiento Tecnológico de los Extensionistas

La tecnología para producir maíz desarrollada por el INIFAP ha evolucionado desde una tecnología de "Gran Visión", hasta ser tecnología de "Alto Grado de Resolución". Así, en los años 60, había un solo tratamiento de fertilización recomendado por el INIFAP, para el maíz de temporal en la República. Para las 7.23 millones de ha cosechadas con maíz de temporal en el quinquenio 1965 a 1969, había un solo tratamiento de fertilización recomendado por el INIFAP: 80-40-0 (N-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-K<sub>2</sub>O). En cambio, en los años 80, el nivel de detalle reconocido era substantivamente superior, como se verá más adelante. El mismo proceso de diferenciación ha ocurrido en cuanto a lo recomendado en semillas mejoradas, herbicidas, insecticidas, fungicidas, etc. Tal es la razón del progreso en cuanto a los rendimientos de maíz alcanzables en los años 80. Este progreso ha demandado, a su vez, progreso y profesionalización del servicio oficial de asistencia técnica a los productores. Es bien sabido que, hacia finales de la década de los 80, el extensionismo oficial se había dejado deteriorar substantivamente.

**Cuadro 8. Algunas características de los productores de maíz que manejaron las mejores tierras maiceras de la República Mexicana en 1989.**

Grupos productores	Número	Superficie maíz ha	Tecnología empleada†			Asistencia técnica %	Educación mayor a básica	Bracerismo
			Semilla mej.	Fertilización				
				N	P			
Régimen hídrico								
Riego Temporal	1424	7.7	69	87	65	51	15	21
	3453	5.8	31	86	64	38	7	13
Tenencia de la tierra‡								
Pprop	1238	10.0	31	88	65	40	17	15
Ejidal	3630	5.1	36	86	64	43	7	15
Propósito de la producción								
Autoconsumo	2551	3.2	16	84	63	40	6	14
Venta	2326	9.9	56	89	66	44	13	17
Tamaño de predio (ha)								
< 2	1409	1.3	19	82	59	37	7	10
2 a 4	1113	3.0	28	89	68	44	7	13
4 a 8	1141	4.9	40	88	63	42	7	15
8 a 12	496	7.1	46	85	61	43	10	21
>12	718	23.3	61	91	75	47	23	27
Total	4877	6.4	42	86	64	42	9	15

† Porcentajes de productores dentro de cada agrupación que usaron semilla mejorada de maíz en el ciclo primavera-verano 1989, y que fertilizaron con nitrógeno y/o con fósforo. Porcentaje que recibió asistencia técnica durante el mismo ciclo.

‡ Pprop significa pequeña propiedad.

Para tener una medida del estado que guardaba en esos años el extensionismo dedicado al maíz, específicamente en las mejores tierras, realizamos el estudio de: (a) el grado de profesionalización; (b) el nivel de conocimientos tecnológicos; y (c) de las condiciones de trabajo de 2836 extensionistas de la SARH, en 1989. En el Cuadro 9 se presenta una síntesis de los resultados.

Tan sólo uno de cada cuatro extensionistas que atendían las mejores tierras de maíz en 1989 tenía un grado profesional; dos tenían el nivel medio; y uno era paraprofesional. Tan sólo 18 % dedicaba más de 60 % de su tiempo a proporcionar asistencia técnica. Ninguno de los extensionistas dominaba la tecnología de producción de maíz. Un máximo de 20 % de los extensionistas tenía experiencia en las actividades típicas del extensionismo.

Difícilmente sería posible transferir la tecnología más reciente del INIFAP a los productores de maíz, sin antes mejorar cabalmente la calidad del servicio de asistencia técnica oficial. La SARH realizó un programa para mejorar el servicio de asistencia técnica a los productores de maíz, entre 1990 y 1994. Las bases de este programa fueron: (a) la privatización del servicio; (b) proporcionar un subsidio a los productores, para pagar el servicio de asistencia

técnica; (3) la actualización profesional de los agrónomos practicantes; y (4) la certificación de los mismos agrónomos.

### Desarrollo de Herramientas y Protocolos para la Asesoría en Maíz

La tecnología más reciente del INIFAP para el cultivo del maíz, involucra el uso de 17 híbridos (cruzas dobles, triples y simples, y cruzas intervarietales), y 13 variedades sintéticas y de polinización libre. Reconoce también 560 Agrosistemas de maíz de riego y 5760 Agrosistemas de maíz de temporal, estos últimos tan sólo dentro de las PAM de MBP y de BP. Los Agrosistemas de maíz son definidos en función de 13 a 15 factores de diagnóstico. Se reconocen además, 16 procedimientos de protección contra arvenses, y 20 contra plagas insectiles y vertebrados.

Nuestro grupo de investigación desarrolló el Sistema PRONAMAT de Diagnóstico-Prescripción para maíz, como apoyo del proceso de transferencia de la tecnología del INIFAP a los productores, a través de agrónomos practicantes. El objetivo de dicho sistema es el de auxiliar al practicante para: (a) identificar el Agrosistema de Maíz de una "parcela-problema" o de

**Cuadro 9. Algunas características de los extensionistas de la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos, responsables de la asistencia técnica en maíz, en las mejores tierras dedicadas al maíz en la República Mexicana, en 1989.**

Concepto	Frecuencias asociadas a los niveles		
	Bajo	Medio	Alto
Formación académica†	28	45	27
Cursos capacitación en 1988‡	63	26	11
Experiencia en:			
Parcelas demostrativas	39	45	16
El cultivo de maíz	25	52	23
Estimación de rendimientos de maíz	25	49	26
Programas de producción	48	36	16
Demostraciones agrícolas a productores	41	46	13
Superficie atendida+	14	41	45
Fracción de su tiempo dedicado a:++			
Asistencia técnica	31	51	18
Levantamiento de estadísticas	93	7	0
Relación de extensionistas con:			
Campo experimental del INIFAP	33	50	17
Crédito y seguro agrícola	18	55	27
Organización de productores	26	48	26
Programas de innovación tecnológica	25	47	28
Apoyo institucional a la movilidad+++	21	22	57
Conocimiento tecnológico sobre maíz:			
Interacción pH y fuente de N	62	38	0
Efecto de malezas	49	51	0
Densidades de población	68	32	0
Uso de semillas mejoradas	13	87	0
Promedio	38	43	19

† Bajo significa paraprofesional; Medio equivale al nivel técnico; y Alto al nivel profesional.

‡ Bajo es 0 cursos; Medio es de 1 a 3; y Alto es más que 3.

+ Bajo es menos que 500 ha; Medio es de 500 a 2 000 ha; y Alto es más que 2 000 ha.

++ Bajo es menos que 30 %; Medio es de 31 a 60 %; y Alto es más que 60 %.

+++ Bajo es sin apoyo; Medio es con apoyo a pasajes; y Alto es con vehículo.

una fracción de esa parcela; y (b) definir el plan de producción-protección indicado.

Este sistema usa los 13 a 15 factores de diagnóstico en dos subsistemas, el de Regionalización (Turrent *et al.*, 1994a) y el Manual de Diagnóstico-Prescripción (Turrent *et al.*, 1994b). El subsistema de Regionalización se apoya en tres factores de diagnóstico: (1) la precipitación secular media de junio a septiembre; (2) la evaporación secular media del mismo período; y (3) la profundidad del suelo. Se presenta en dos tipos de documentos, uno de tipo cuantitativo y nivel nacional, que indica el número de hectáreas dedicadas al cultivo de maíz bajo temporal, dentro de cinco Provincias Agronómicas. La información cubre desde el nivel municipal, hasta el nacional (González *et al.*, 1991). El segundo tipo de documento es cartográfico y cubre el nivel estatal. Se ha desarrollado la cartografía de las PAM, a escala 1:50 000, de los principales estados maiceros:

Veracruz, México, Jalisco, Puebla, Chiapas, Guerrero, Tlaxcala e Hidalgo. Esta cartografía corresponde a la definición contenida en el Cuadro 5 de este documento. En la actualidad trabajamos en la caracterización más fina de los suelos de uso agrícola, en los estados de México, Hidalgo, Morelos y Chiapas. Perseguimos el conocimiento que nos permita regionalizar las tierras, a escalas mayores (1:10 000 y 1:5 000) a la de 1:50 000, que ya está disponible para algunos estados.

El subsistema Manual de Diagnóstico-Prescripción para el cultivo de Maíz, se apoya en los 10 a 12 factores restantes de diagnóstico, organizados a manera de claves, que conducen a la identificación de un Agrosistema de maíz en una parcela o fracción de la parcela. Los factores de diagnóstico son: (4) el ciclo de cultivo; (5) el régimen de humedad; (6) la oportunidad de la fecha de siembra; en relación con el suelo: (7) su clasificación pedogenética; (8) su textura; (9) la pendiente superficial; (10) su drenaje; (11) su pH; (12)

**Cuadro 10. Producción actual y proyecciones del potencial productivo de maíz del campo mexicano para 2010.**

Concepto	Provincias Agronómicas de Maíz†							Total
	Riego	Temporal	MBP	BP	MP	bP	tm	
Superficie cosechada, haX10 <sup>-6</sup>	1.10	6.00	0.90	0.90	3.17	0.68	0.35	7.10
Superficie cosechada, haX10 <sup>-6</sup>	1.00	5.00	0.90	0.90	2.17	0.68	0.35	6.00
Superficie cosechada, haX10 <sup>-6</sup>	1.00	3.50	1.50	1.00	1.00	0	0	4.50
Quinquenio 1985-1989‡								
RendObserv	3.40	1.49	(2.50)	(2.20)	(1.30)	(0.70)	(0.30)	1.78
ProdObserv	3.74	8.94	2.25	1.98	4.12	0.48	0.11	12.68
RendPot	6.10	3.18	4.30	3.90	3.50	0.70	0.30	3.63
ProdPot	6.71	19.06	3.87	3.51	11.09	0.48	0.11	25.77
Quinquenio 1990-1994‡								
RendObserv	4.00	1.81	(2.90)	(2.50)	(1.70)	(0.70)	(0.30)	2.15
ProdObserv	4.40	10.84	2.61	2.25	5.39	0.48	0.11	15.24
Quinquenio 2005-2009‡								
RendPot	7.00	3.49	5.00	4.20	3.80	0.70	0.30	4.03
ProdPot	7.70	20.92	4.50	3.78	12.05	0.48	0.11	28.62
Quinquenio 2005-2009								
ProdPot+	7.00	16.03	4.50	3.78	7.16	0.48	0.11	23.03
ProdPot++	7.00	15.50	7.50	4.20	3.80	0	0	22.50

† MBP es muy buena productividad; BP es buena; MP es mediana; bP es baja; y tm es tierras marginales.

‡ Bajo la suposición de que la superficie cosechada de maíz se mantiene en 1.1 millones ha de riego y 6 millones ha de temporal.

RendObserv significa rendimiento nacional observado; expresado en t ha<sup>-1</sup>; ProdObserv es producción nacional observada en millones de t; RendPot significa rendimiento nacional potencial; ProdPot es la producción potencial nacional.

+ Esta estimación de la producción potencial de maíz se apoya en el supuesto de 6 millones de ha cosechadas, de las que 1 millón es de riego y 5 de temporal.

++ Esta estimación se apoya en el supuesto de 4.5 millones de ha cosechadas, de las que 1 millón es de riego y 3.5 de temporal.

su contenido de materia orgánica; y (13) la altitud sobre el nivel del mar. Para cada Agrosistema de Maíz hay un plan indicado de producción. El Manual ha sido preparado y publicado al nivel de estado, para Veracruz (Turrent *et al.*, 1991b), México (Turrent *et al.*, 1992a), Puebla (Turrent *et al.*, 1992b), Chiapas (López *et al.*, 1993), e Hidalgo (Turrent *et al.*, 1994c).

Nuestro grupo de investigación participó en planes de acción de la SARH y de los gobiernos de varios estados, para aumentar la producción de maíz, dentro del esquema delineado por el PRONAMAT. A partir de estas experiencias se desarrollaron protocolos de asesoría profesional agronómica, que pueden ayudar al desempeño del agrónomo practicante en su relación con los productores de maíz y las instituciones de servicio a la producción (Turrent *et al.*, 1992c; 1994d).

Los agrónomos interesados en el dominio de la tecnología para maíz del INIFAP, deben estar actualizados en el uso de las herramientas y protocolos arriba citados. Así, en coordinación con las delegaciones estatales de la SARH y con los gobiernos de los estados de México, Veracruz, Puebla y Chiapas, se impartieron cursos de actualización para 650 ingenieros agrónomos, durante 1990 a 1992.

### Un Plan para Aumentar la Producción de Maíz en México

Se propuso a la SARH un plan para aumentar la producción de maíz hasta lograr la autosuficiencia nacional (SARH, 1990) bajo las siguientes bases: (1) cubriría hasta 2.5 millones de ha de maíz en el quinto año; de esa superficie, 700 mil ha serían de riego y 1.8 millones de temporal, en las PAM de MBP y BP; (2) involucraría 25 estados; (3) se requerirían 445 agrónomos extensionistas en el primer año, aumentando hasta 2 550 agrónomos en el quinto año; (4) el incremento en la producción nacional de maíz sería de 5 millones de ton, a partir del cuarto año, de los que 3.34 millones serían atribuibles directamente al plan; (5) el valor actual neto del proyecto era de 2.10 millardos de pesos, con relación B/C igual a 1.54 (Turrent *et al.*, 1991a).

### Proyecciones de la Capacidad Productiva de Maíz, del Campo Mexicano

En esta sección analizaremos la capacidad productiva de maíz del campo mexicano, tanto de la actualidad como del año 2010, bajo tres escenarios; el

primero presupone que: (1) la superficie cosechada de maíz se estabiliza en 7.10 millones de ha, de las que 1.1 millones son de riego y 6 millones de temporal; (2) no hay cambio en cuanto a la proporción histórica de las calidades de la tierra de temporal dedicadas al maíz; (3) se transfiere efectivamente la tecnología del INIFAP a los productores de maíz; (4) el INIFAP continúa avanzando en cuanto a la potencialidad productiva de su tecnología para maíz; (5) el entorno económico es proclive a la producción rentable de maíz en México; (6) los productores de maíz de subsistencia continúan produciendo maíz aún en las tierras de menor calidad agronómica (PAM de baja productividad y tierras marginales).

En el Cuadro 10 se resume información pertinente a las proyecciones sobre la capacidad del campo mexicano, para producir maíz. En la sección correspondiente a los quinquenios 1985 a 1989 y 1990 a 1994 se presentan, entre paréntesis, soluciones numéricas para los rendimientos medios "observados" en las PAM de temporal, habida cuenta de que las estadísticas oficiales sólo registran los rendimientos medios nacionales agregados a los niveles de riego, de temporal y total. Los rendimientos potenciales que corresponden a las PAM de temporal son los mismos para ambos quinquenios. A diferencia de las PAM de riego y de MBP y de BP, no se dispone de la medida directa del rendimiento medio para la PAM de MP. La cifra de 3.50 t ha<sup>-1</sup> estimaría tal rendimiento, a partir de estimaciones puntuales de experimentos de campo, y de la similitud que observamos con el rendimiento medio para la PAM de BP (Turrent, 1986). En la actualidad, el INIFAP no dispone de tecnologías para aumentar rentablemente los rendimientos de maíz en las PAM de Baja Productividad (bP) y de Tierras Marginales (tm).

La estimación de la producción potencial para ambos quinquenios (1985 a 1989 y 1990 a 1994), se ubica en más de 25 millones de toneladas anuales. Tal nivel de producción supera al consumo nacional aparente proyectado para el año 2010, que es de 22,335 millones de toneladas. Actualmente se trabaja en el INIFAP para ampliar más el potencial productivo del maíz mediante nuevas tecnologías. Es razonable esperar que, en los próximos diez años, se supere con creces el nivel de productividad actual, de la misma manera que se logró en lo pasado. Si se aceptan los rendimientos de maíz asociados con las PAM previstas para el quinquenio 2005 a 2009 en el Cuadro 10,

entonces el potencial de producción del campo mexicano superaría la cifra de 28 millones de toneladas anuales.

En la parte inferior del Cuadro 10 se muestran las proyecciones de producción de maíz para dos escenarios alternos, en cuanto a la superficie cosechada anualmente; suponiendo que la superficie nacional cosechada se redujera a 6 y a 4.5 millones de ha, respectivamente. En el primer caso, se reduce en 1 millón de ha la superficie de la PAM de MP, respecto al área supuesta cosechada originalmente. En el último caso, se eliminan las PAM de bP y de tm, se reduce a 1 millón de ha la superficie de las PAM de BP y MP; y se incrementa en 600 mil ha la superficie cosechada en la PAM de MBP. En ambos escenarios se conseguiría la autosuficiencia.

## RENTABILIDAD DEL CULTIVO DE MAIZ

Hay tres estudios, por lo menos, que examinan la rentabilidad del cultivo del maíz dentro del mercado regional desregulado, de acuerdo con lo convenido en el Tratado de Libre Comercio entre México, la Unión Americana y Canadá. Estos estudios son los de Caballero y Zermeño, (1993), Puente, (1994) y Turrent *et al.*, (1994d) que revisaremos a continuación.

La instrumentación del PRONAMAT en algunos estados de la República, permitió a Turrent *et al.* (1994d) juzgar la rentabilidad de la producción de maíz de temporal, en las PAM de MBP y de BP bajo condiciones directas de campo. Revisaremos el ejercicio que, en el ciclo primavera-verano 1991, involucró a 7 459 productores de maíz del estado de Veracruz, al gobierno del mismo estado y a la SARH. En este programa participaron 6 653 ejidatarios y 806 pequeños propietarios. El tamaño promedio del predio fue de 3.5 hectáreas. 45 % de los predios fue de tamaño menor a 3 ha; 33 % se ubicó entre 3 y 5 ha; y 22 % tuvo más de 5 hectáreas. Se proporcionó asesoría agronómica especializada en maíz a través de 86 Ingenieros Agrónomos actualizados en la tecnología más reciente del CIRGOC-INIFAP (Turrent *et al.*, 1991b). Se atendieron 23 962 ha de maíz, de las que 13 311 ha fueron habilitadas con crédito oficial, y 10 651 ha no lo fueron. Diferentes fracciones de los productores acreditados funcionaron con ambos niveles de capital: suficiente e insuficiente para adquirir los insumos requeridos por la tecnología (semilla

**Cuadro 11. Componentes de los costos de producción por tonelada de grano de maíz comercial de varios grupos de desempeño agronómico. PRONAMAT Veracruz, 1991.**

Grupo de predios	Concepto†	Componentes de los costos de producción				Total
		Labranza	Mano de obra‡	Insumos	Cosecha+	
Todos 3.59 t ha <sup>-1</sup>	Costo por:					
	ha	394	254	523	660	1831
	ton	106	68	141	177	492
	Rel %	21.5	13.9	28.6	36.0	100
Predio de 5.20 t ha <sup>-1</sup>	Costo por:					
	ha	394	254	550	878	2076
	ton	76	49	106	169	399
	Rel %	19.0	12.3	26.6	42.4	100
Predio de 6.26 t ha <sup>-1</sup>	Costo por:					
	ha	394	254	510	1023	2181
	ton	63	41	81	163	348
	Rel %	18.1	11.6	23.4	46.9	100

† Los costos se expresan en MN por tonelada o por hectárea; se incluye el costo financiero del capital. Los costos relativos tienen como referencia el costo por tonelada.

‡ El concepto mano de obra excluye a la fracción que se usa en la cosecha.

+ El costo de la cosecha incluye "la dobla", cosecha, acarreo y desgranado.

certificada, fertilizante, herbicida, etc.). El insuficiente capital con el que funcionó una parte de los productores se debió al plan de crédito mismo, o a ineficiencias en la administración del crédito.

Cuando el maíz maduró fisiológicamente, se recabó información sobre el desempeño agronómico y económico de los productores participantes. El ejercicio de colección de información fue programado según un muestreo al azar con probabilidad proporcional al tamaño del predio. Se midieron directamente los rendimientos en dos a cinco sitios de muestreo por predio, según su tamaño. El sitio de muestreo fue de 10 metros cuadrados. El plan de muestreo incluyó a 633 predios. Se entrevistaron los productores para recabar la información pertinente sobre el manejo agronómico y sobre sus costos.

El rendimiento promedio de los productores quienes pudieron apegarse a la tecnología recomendada, fue de 3.59 t ha<sup>-1</sup>. 16.3 % de tales predios tuvo rendimientos inferiores a 2 t ha<sup>-1</sup>; otro 37.2 % cosechó entre 2 y 4 t ha<sup>-1</sup>; 44 % cosechó entre 4 y 5.5 t ha<sup>-1</sup>, y 2.8 % tuvo rendimientos superiores a 5.5 t ha<sup>-1</sup>. Todos los predios cuyos rendimientos fueron inferiores a 4 t ha<sup>-1</sup>, sufrieron sequía en grados variables.

En lo que compete a los costos de producción, no hubo predios que tuvieran costos de producción de maíz inferiores a \$ 300 por tonelada; 8.7 % de los predios fue operado con costos comprendidos entre \$ 300 y \$ 400, 56.5% de los predios se ubicó entre \$ 400 y \$ 500, en tanto que 34.8 % se operó con

costos mayores que \$ 500 por tonelada. En el Cuadro 11 se muestran los componentes de los costos de producción del grano de maíz para tres casos de desempeño agronómico. A partir de tal información, se calcularon la tasa de rendimiento mensual del capital (TRM) y la relación beneficio/costo (Rel B/C) de los productores, ambos por encima de la inflación, para los dos siguientes precios de venta del maíz: (a) el precio de garantía vigente en octubre de 1991; y (b) el precio hipotético del mercado desregulado más el subsidio Procampo (SARH, 1993a), equivalente a \$ 263 (pesos de 1991) por hectárea, (ó \$ 330 de 1993). Se supuso que el precio de venta del maíz "blanco tipo Kansas" importado, sería de \$ 500 t<sup>-1</sup> en la parcela del productor. Los cálculos presuponen que el productor de maíz asume una pérdida de 2 % por el almacenamiento de su grano durante seis meses, más el costo financiero de su inversión en la producción de maíz, durante el mismo período, a una tasa anual de 10 %. También se supuso que el productor mismo habría de recibir alguno de los dos precios de venta de maíz previstos. En el Cuadro 12 se presentan los resultados de este ejercicio.

Se advierte en el Cuadro 12 que, para el precio de venta de garantía (\$ 715 t<sup>-1</sup>), ambos indicadores: TRM (tasa de rendimiento mensual del capital) y Rel B/C (relación beneficio/costo), resultan desde atractivos hasta muy atractivos, aún para el menor rendimiento de maíz considerado (3.59 t ha<sup>-1</sup>) y cosechado manualmente. En cambio, cuando se supone el precio de

**Cuadro 12. Tasas de rendimiento mensual del capital invertido en la producción de maíz y relaciones beneficio/costo, para dos precios de venta del grano y seis tipos de desempeño técnica. PRONMAT Veracruz, 1991.**

Rendimiento	Tipo de cosecha†	Costo‡	Rendimiento del capital según dos precios de venta+			
			TRM++%	Rel B/C	TRM %	Rel B/C
t ha <sup>-1</sup>		\$ t <sup>-1</sup>	\$ 715 ton <sup>-1</sup>		\$ 500 + Procampo	
3.59	manual	527	5.3	1.357	1.4	1.088
5.20	manual	427	9.0	1.674	4.3	1.289
6.26	manual	372	11.5	1.922	6.3	1.457
3.59	mecanizada	431	8.8	1.659	5.0	1.330
5.20	mecanizada	336	13.4	2.128	8.6	1.639
6.26	mecanizada	285	16.5	2.509	11.3	1.902

† Se hace la suposición de que el costo de la cosecha mecanizada de maíz es aproximadamente la mitad del costo de la cosecha manual.

‡ El costo incluye: (1) el costo de producción por tonelada según el Cuadro 11; (2) el costo de una merma del 2 % durante seis meses; y (3) el costo financiero del capital a razón de 10 % anual por mantener el grano almacenado durante seis meses.

+ El precio de venta afectado por el Procampo es igual a \$ 500 más la fracción de \$ 263 dividida entre el rendimiento (pesos de 1991).

++ TRM es la tasa de rendimiento mensual del capital, en %. Se cubre el período de seis meses en el ciclo primavera-verano.

\$ 500 t<sup>-1</sup> más el subsidio Procampo, el caso del rendimiento de 3.59 t ha<sup>-1</sup> con cosecha manual, aunque positivo y real, (por encima de la inflación), es marginal: TRM de 1.4% y Rel B/C de 1.088. En cambio, cuando se presupone que la cosecha del maíz se realiza de manera mecanizada, aún con rendimiento de 3.59 t ha<sup>-1</sup>, la producción de maíz es muy atractiva. La producción de maíz a rendimientos de 5.20 y de 6.26 t ha<sup>-1</sup>, resulta muy atractiva bajo ambos tipos de cosecha, manual y mecanizada.

Este ejercicio indica que, para las suposiciones hechas, tan sólo 50 % de los productores participantes en el PRONMAT Veracruz, aquellos que obtuvieron rendimientos de maíz mayores que 3.59 t ha<sup>-1</sup>, habrían ganado en la actividad de producir maíz, de haber estado el mercado ya desregulado en 1991. La proporción habría sido mayor, si toda la cosecha se hubiera realizado de manera mecanizada.

Algunas enseñanzas de este ejercicio son que, para mantener a la producción de maíz como actividad rentable en las mejores tierras temporaleras del país, es necesario avanzar en varios frentes, durante los 15 años de proceso de desregulación del mercado nacional. Estos frentes son por lo menos: (1) el proceso de transferir la tecnología de producción de maíz, ya disponible; (2) el mejoramiento de los rendimientos de maíz asociados con el uso de la tecnología del INIFAP, lo que, a su vez, tiene implicaciones sobre la calidad misma de la tecnología y/o la calidad del proceso de su transferencia (crédito, seguro, asesoría agronómica, caminos de acceso, etc.); (3) la mecanización de la cosecha; (4) la habilitación a los productores con infraestructura de almacenamiento de su grano, de preferencia al nivel de la unidad de producción.

Es importante señalar que no se encontró, en este estudio, relación entre el tamaño del predio y el rendimiento de maíz, habiéndose atendido predios desde 0.5 ha hasta 50 hectáreas. Esta observación es pertinente a la interpretación que pueda darse a los cambios al artículo 27 constitucional, respecto a las ventajas asociadas con las economías de escala. Puede argumentarse con razón que las unidades grandes logran mayor rentabilidad que las pequeñas, aún con los mismos rendimientos, si están ambas en contextos aislados. Pero también sería argumentable que las unidades pequeñas podrían derivar economías de escala si coordinaran sus operaciones de comercialización entre sí. El modelo de agregación de las pequeñas unidades alrededor de la "unión de crédito", podría ser una solución factible.

A diferencia de la característica local y empírica del estudio recién revisado, el segundo estudio que examinaremos: Puente (1994) es de cobertura nacional. Además, este estudio tiene un riguroso marco económico teórico, que imprime confiabilidad a sus conclusiones. El estudio abarca 6.3 millones de ha cosechadas de maíz en los años 1991 y 1992, que representan 89 % de la superficie nacional. Se evaluaron las rentabilidades privadas y económicas asociadas con 374 tecnologías actuales y 192 tecnologías potenciales, adecuadas a los sistemas regionales de producción de maíz. Se evaluaron indicadores tales como: el valor de la producción; el consumo intermedio; el valor agregado; la relación de costo privado (competitividad); la relación de costo de los recursos (ventajas comparativas); subsidios; coeficientes de protección nominal; y el coeficiente de protección efectiva.

Indica Puente González (1994) que la superficie de temporal abarca 82.3 % del total, con 220 tecnologías actuales y 117 tecnologías potenciales. La superficie de riego por gravedad abarca 11.6 % del total, con 93 tecnologías actuales y 52 potenciales. En 6.1 % de la superficie restante, se cultiva maíz con riego de bombeo, y se opera con 61 tecnologías actuales y 23 potenciales. Se elaboraron los presupuestos privados con base en la información sobre rendimientos y coeficientes técnicos de insumos comerciables y factores de la producción de las diferentes tecnologías representativas actuales y potenciales, así como de los precios pagados y recibidos por los productores. Asimismo, el autor citado señala que elaboró los presupuestos económicos a partir de precios de eficiencia derivados de precios internacionales de insumos y de productos, así como de los precios de escasez de los factores internos de la producción de maíz.

En el Cuadro 13 se presenta el resumen de los resultados de este estudio. Según el autor citado, en 4.8 millones de hectáreas cosechadas de maíz en 1991 y 1992, la actividad de producir maíz con las tecnologías actuales fue competitiva. El productor promedio logró una ganancia neta de 29 %, después de cubrir los costos de la producción, propios y contratados. Se señala que la competitividad alcanzada derivó en gran parte de la protección de 45 % en el precio interno del maíz. En cambio, tan sólo en 1.12 millones de ha hubo ventajas comparativas, cuando se usaron solamente las tecnologías actuales. En este caso, el índice Relación de Costo de los Recursos tuvo el valor promedio de 0.95. Finalmente, bajo el uso de tecnologías actuales y potenciales, se lograrían ventajas comparativas en 2.8 millones de hectáreas. El rendimiento promedio en las 2.8 millones de ha, sería igual a 3.95 t ha<sup>-1</sup>.

En el Cuadro 14 se presentan los estados que, de acuerdo con este estudio, ofrecen la mayor promesa en cuanto a la potencialidad de producir maíz, con ventajas comparativas.

El tercer estudio también es de corte nacional (Caballero y Zermeño, 1993), y retoman los resultados de PRONAMAT, en cuanto a las superficies y rendimientos alcanzables en las PAM de riego y de MBP y BP (bajo temporal), con la tecnología del INIFAP, previamente descritos en este trabajo. Los autores citados estudiaron los costos de producción de maíz en los estados de Jalisco, México, Sonora, Puebla

**Cuadro 13. Desempeño del campo mexicano en la producción de maíz, en términos de competitividad y ventajas comparativas, según las tecnologías actuales y potenciales.**

Concepto	Desempeño según el uso de tecnología		
	Actual		Actual + potencial
	Competitividad	Ventajas comparativas	Ventajas comparativas
Superficie total (mil ha)	4 800	1 120	2 800
Riego de bombeo	725	0	170
Riego por gravedad	283	213	450
Temporal	3 787	907	2,180
Rendimiento (t ha <sup>-1</sup> )	2.67	3.14	3.95
Riego de bombeo	4.26	†	4.44
Riego por gravedad	4.00	4.36	4.36
Temporal	2.90	3.32	3.91
Relación de costo privado	0.71		
Relación de costo de recursos		0.95	
Coef. de protección nominal	1.45		
Coef. de protección efectiva	3.90		

† No hay áreas de maíz bajo riego por bombeo que con las tecnologías actuales tengan ventajas comparativas.  
Fuente: Puente González, 1994.

**Cuadro 14. Distribución de las superficies de riego y temporal cosechadas de maíz en 1991 y 1992, que muestran ventajas comparativas en los seis estados más importantes.**

Estado	Superficie		Proporción %
	Total analizada	Con ventajas comparativas	
	----- mil ha -----		
México	642	423	65.9
Jalisco	637	421	66.0
Guanajuato	506	356	70.4
Chiapas	620	336	54.2
Michoacán	433	247	57.0
Guerrero	439	243	55.3

Fuente: Puente González, 1994.

y Tamaulipas. Con esta información y con la obtenida en el estado de México por el INIFAP, decidieron usar los costos de \$ 2,150 ha<sup>-1</sup> de riego y \$ 1,839 ha<sup>-1</sup> en las PAM de MBP y de BP de temporal. Estas cifras se asocian con la tecnología recomendada actualmente por el INIFAP.

Con excelente visión, estos autores añaden a los costos de producción de maíz los costos de comercialización, que en la actualidad son incurridos por el estado, a través de la Conasupo. Estos costos, que en lo futuro serán absorbidos en gran medida por

los productores, incluyen "el de acopio, almacenamiento y conservación; el flete terrestre por furgón desde los centros de producción de Chihuahua, Chiapas, Jalisco y Nayarit, a la ciudad de México, y las mermas". La estimación de ese costo es de N\$ 131 por tonelada. Además, los autores enriquecen el realismo de su estudio, al considerar el monto del subsidio otorgado por la Unión Americana a sus productores de maíz, junto con el precio internacional del maíz y costo de internación a México, para integrar el Precio Referente Internacional (PRI), igual a \$ 508 por tonelada. El costo promedio de comercialización arriba citado, equivale a casi 26 % del PRI.

En su análisis de competitividad del maíz producible en las PAM de riego y de MBP y BP de México, con las tecnologías recomendadas por el INIFAP, los autores encuentran que el aumento en competitividad derivado del aprovechamiento de la nueva tecnología, se desvanece al incluir el alto costo de la comercialización, y proponen un plan muy atractivo para reducir tal costo. Este plan busca acortar la distancia entre el punto de producción y el de consumo.

También señalan con énfasis los autores a otro factor opuesto a la competitividad: el alto costo financiero que los productores de maíz han de pagar. Documentan que, en Atlacomulco, estado de México, los productores participantes del "Programa de Alta Productividad de Maíz" de la SARH, afrontaron un costo financiero de \$ 510 ha<sup>-1</sup> en 1991. Este costo representó 28 % del costo total por hectárea; \$ 1,800. En las proposiciones de una política nacional proclive a la competitividad del cultivo del maíz, los autores proponen que el costo financiero no debería rebasar los cuatro puntos porcentuales por arriba del Costo Porcentual Promedio. De esta manera, el costo financiero del capital se mantendría en el orden de magnitud de 13 % del costo de producción. Finalmente, añaden a su proposición sobre una política pro-competitividad en maíz, la imposición de un arancel de 20 % a todo maíz importado para fines de consumo humano. Este arancel habría de reflejar la inferior calidad nixtamalera del maíz de tipo forrajero, que predomina en la Unión Americana.

En el Cuadro 15 se presenta el resumen de las posibilidades de competitividad del cultivo de maíz en las mejores tierras de México, según Caballero y Zermeño (1993).

**Cuadro 15. Posibilidades competitivas de la producción de maíz en las mejores Provincias Agronómicas de Maíz, considerando un arancel de 20 %.**

Concepto	Provincias Agronómicas		
	Riego	Muy buena productividad	Buena productividad
Rendimiento t ha <sup>-1</sup>	6.4	4.4	3.8
Costos			
Producción N\$ t <sup>-1</sup>	292.3	363.0	421.0
Comercialización N\$ t <sup>-1</sup>	91.4	91.5	91.5
Total N\$ t <sup>-1</sup>	383.7	454.5	512.5
Diferencia respecto al precio referente internacional de N\$ 571.9 t <sup>-1</sup>			
Diferencia abs. N\$ t <sup>-1</sup>	188.1	117.4	59.4
Diferencia rel. %	49	26	12

Fuente: Caballero y Zermeño, 1993.

Los tres estudios antes citados coinciden en que la adopción de mejores tecnologías, es un prerequisite para que los productores de maíz de México, mejoren su competitividad. Además, en su estudio, Caballero y Zermeño (1993) documentan la necesidad adicional de reducir los costos de comercialización y de financiamiento. Hay también gran coincidencia en cuanto a la magnitud de la superficie en la que, habiéndose adoptado mejores tecnologías para producir maíz, este cultivo sería competitivo en el periodo post-desregulatorio del mercado nacional. Esta superficie es del orden de magnitud de 2.7 millones de hectáreas.

En el Cuadro 16 se presenta un resumen de los estudios citados. Hay varias dificultades de por medio en la comparación de estos estudios, entre estas, el criterio económico de juicio. El estudio de Puente (1994) se basa en el índice de la Relación de Costo de los Recursos Internos, que ha de ser inferior a la unidad y mayor a cero, para indicar ventaja comparativa. El estudio de Caballero y Zermeño, (1993) se apoya en la diferencia entre el Precio Referente Internacional del maíz y el costo actual de producción y comercialización por tonelada, expresado como fracción del costo actual de producción más de comercialización; esta fracción ha de ubicarse entre 0 y 1 para indicar competitividad. Para estimar los rendimientos de maíz que habrían de obtenerse después del cambio tecnológico, el estudio de Puente se basa en "los incrementos en rendimiento estimados por el INIFAP", en tanto que el estudio de Caballero y Zermeño se apoya en los rendimientos medidos en el proyecto PRONAMAT (Turrent *et al.*, 1991a).

El estudio de Puente (1994) muestra que tan sólo en 55.6 % de la superficie de maíz bajo riego se

**Cuadro 16. Comparaciones entre los resultados de los estudios sobre la competitividad y ventaja comparativa del cultivo del maíz en la República Mexicana.**

PAM	Superficies estudiadas†		Competitividad o ventaja comparativa			
	PRONAMAT	Puente	Caballero y Zermeño‡		Puente+	
			Fracción	Rendimiento	Fracción	Rendimiento
	millones de ha			t ha <sup>-1</sup>		t ha <sup>-1</sup>
Riego	0.9378	1.1151	1.000	6.15	0.556	4.38
Temporal	5.9349	5.1849	0.299	4.10	0.420	3.91
Total	6.8727	6.3000	0.395	4.80	0.444	3.95

† Las superficies consideradas en los estudios PRONAMAT y Caballero y Zermeño son prácticamente las mismas; la superficie considerada por Puente representa 89 % de la cosechada en 1991-1992.

‡ El estudio de competitividad de Caballero y Zermeño busca predecir el comportamiento financiero del cultivo del maíz, suponiendo: (a) superficies similares y rendimientos del estudio PRONAMAT, y (b) ajustes a los costos de comercialización, subsidio al costo financiero, y arancel de 20 % al maíz importado para consumo humano (Turrent *et al.*, 1991a; Caballero y Zermeño, 1993).

+ El estudio de Puente define a la condición de "ventaja comparativa", en términos de la "Relación de Costos de los Recursos Internos" que ha de ser menor que la unidad (Puente, 1994).

lograría ventaja comparativa, y que el rendimiento promedio nacional sería de 4.38 t ha<sup>-1</sup>. En contraste, el total de esa superficie sería competitiva y el rendimiento promedio nacional de 6.15 t ha<sup>-1</sup>, de acuerdo con el estudio de competitividad bajo el TLC (Caballero y Zermeño y PRONAMAT). En cuanto a la superficie bajo temporal, Puente González señala que 42 % de la superficie cosechada tendría ventaja comparativa, con rendimiento promedio nacional de 3.91 t ha<sup>-1</sup>. El otro estudio indica que sólo 29.9 % sería competitivo bajo el TLC y que se lograría un rendimiento promedio de 4.10 t ha<sup>-1</sup>.

Si no hubiera grandes diferencias entre las tecnologías del INIFAP definidas para el PRONAMAT y las tecnologías potenciales "definidas por los investigadores del INIFAP" según Puente (1994), este último estudio podría considerarse como límite inferior a los rendimientos bajo riego, para alcanzar ventaja comparativa. Es muy probable que la aplicación de los criterios económicos de Puente a los rendimientos asociados con PRONAMAT en riego, habrían ampliado la fracción con ventaja comparativa, a la casi totalidad de la superficie bajo riego.

En los tres estudios, hasta aquí examinados, han quedado ausentes dos elementos de ventaja comparativa para las pequeñas unidades de producción; estos son el rastrojo de maíz y el "totomoxtle" (hojas modificadas que envuelven la mazorca). Una variedad criolla típica y también un híbrido de primera y aún de segunda generación del INIFAP, tienen una relación paja:grano mayor que 2:1. Además, la mazorca está normalmente ubicada dentro del tercio superior de la planta, lo que hace un "brazo de palanca" proclive al "acame" (o volcadura de la planta, cuando hay vientos

fuertes). En cambio, los híbridos de tercera generación del INIFAP tienen relaciones, paja:grano cercanas a 1.5:1. Es decir, que rinden menos paja por unidad de grano. A un rendimiento de 5 t de grano correspondería un rendimiento de 10 a 12 t de rastrojo, si se tratara de un maíz criollo o de un híbrido de primera generación del INIFAP, o de 7 a 8 t si fuera un híbrido de tercera generación. Es bien conocido el aprovechamiento del rastrojo en México, para la alimentación de rumiantes y equinos, fuera de la región lluviosa del Golfo.

La ventaja del maíz híbrido sobre el criollo, además de su mayor potencial de rendimiento, es su mayor resistencia al "acame". La mayor resistencia se debe a varios factores genéticos y a la menor altura relativa de su mazorca. Empero, un híbrido que conservara la relación paja:grano de los criollos y que tuviera la mazorca ubicada cerca de la base del tercio medio de su altura (menor brazo de palanca), sería un maíz de doble propósito portador de ventajas comparativas para el productor tradicional. Las 10 toneladas de rastrojo de una hectárea podrían ser procesadas para producir 580 pacas de 17 kg cada una, con un valor total en el mercado nacional cercano a \$ 2300. De estos, por lo menos \$ 1300, serían ingreso neto al productor. Una unidad de producción agropecuaria aprovecharía su rastrojo como insumo para la producción de leche y de carne.

El maíz mejorado de doble propósito ideal, también debería tener "totomoxtle adecuado para la envoltura de tamales. El totomoxtle ideal es de tamaño grande y es resistente y tiene, por lo menos, dos hojas interiores que envuelven totalmente a la mazorca. Los maíces de la raza "Chalqueño" concentran con gran frecuencia,

los genes responsables de este carácter. La creciente industria de la elaboración de tamales aumenta cada día su demanda de este insumo. En regiones como la de Chalco, estado de México, los productores pueden obtener ingresos hasta de \$ 2000 por ha, por la venta del "totomoxtle" de mayor calidad, arreglado en pacas. Como alternativa, hay microempresarios que ofrecen realizar la cosecha y acarreo de la mazorca hasta la vivienda, a cambio del totomoxtle. Cualquiera de los dos coproductos del maíz tendrá el efecto de reducir el costo de producción del grano de maíz de manera sustantiva y, de esa manera, hacer más rentable su cultivo.

No es difícil entender el valor potencial que este elemento de ventaja comparativa, y su desarrollo adicional, podría tener para organizar la defensa de las fuentes de empleo del campo mexicano. Los próximos 14 años de desregulación gradual del mercado nacional, permitirán progreso en esta dirección, si es que el país opta por el camino de retener la actividad de producir maíz, como actividad económica.

Los compromisos adquiridos por México en torno al Tratado Trilateral de Libre Comercio, prevén la total desregulación del mercado nacional de maíz en el año 2008. A partir de entonces, el precio del maíz en el mercado regional reflejará al precio internacional más los costos de internación. Se deduce del estudio de Caballero y Zermeño (1993) que, a menos de que los subsidios a la producción de maíz que otorgan nuestros socios a sus productores sean eliminados, sería una práctica desleal (o dumping) contra los nuestros, el no otorgarles el mismo nivel de subsidio. Los mismos autores señalan que en tres años (1983, 1986 y 1988), del período de nueve años transcurridos entre 1980 y 1988, los costos de producción de maíz en la Unión Americana superaron al valor de la cosecha total calculada con base en el precio internacional. Por tal razón, el gobierno de los Estados Unidos otorga un subsidio a sus productores de maíz, que promedia 33 % del valor del grano. En el mismo período, el subsidio a los productores de maíz de México promedió 40 % y el de Canadá 18 %. En otras palabras, si bien habrá de regir el precio internacional en el mercado regional del maíz, el subsidio al productor mexicano habría de eliminarse solamente en el caso de que nuestros socios así lo hicieran. En tal caso, el precio internacional del maíz se incrementaría por un monto probablemente equivalente al subsidio de

la Unión Americana, ya que este país es el principal abastecedor de maíz al mercado internacional.

Los citados autores calculan que el precio del maíz, importado desde Chicago hasta la ciudad de México, sería de US\$ 163.75. De este monto, US\$ 103.64 corresponden al precio en la ciudad de Chicago, US\$ 34.20 corresponden al subsidio a los productores de la Unión Americana, y US\$ 25.91 al costo de traslado del maíz a la ciudad de México.

En el Cuadro 17 se muestran los equivalentes en moneda nacional (MN) de los componentes del precio internacional del grano de maíz para siete tasas de cambio peso:dólar (Caballero y Zermeño, 1993). Hay, sin embargo, un acuerdo adicional de gradualismo del proceso de apertura del mercado nacional de maíz, que tomaría 15 años hasta la apertura total. En ese período, habría aranceles compensatorios, con el fin de proteger, si bien de manera decreciente, a los productores nacionales.

### CONSIDERACIONES ADICIONALES SOBRE EL CULTIVO DE MAIZ

Los análisis económicos examinados señalan que, tan sólo en una fracción que se acerca a 40 % de la superficie actualmente dedicada al maíz, podrá ser rentable su producción, después de la desregulación del mercado regional. Esta superficie es del orden de 2.7 millones de hectáreas. Sin embargo, hay otras 3.1 millones de hectáreas dentro de la PAM de Mediana Productividad (Cuadro 6), cuyo potencial productivo no ha sido medido directamente en el campo, a la luz de la tecnología más reciente del

**Cuadro 17. Equivalentes en moneda nacional del Precio de referencia internacional del maíz, según siete paridades del peso al dólar†.**

Tasa de cambio	Precio más traslado	Subsidio en USA‡	Total
		\$ t <sup>1</sup>	
1.00 : 1	129.55	34.20	163.75
7.00 : 1	906.85	239.40	1146.25
7.50 : 1	971.63	256.50	1228.13
8.00 : 1	1036.40	273.60	1310.00
8.50 : 1	1101.18	290.70	1391.88
9.00 : 1	1165.95	307.80	1473.75
9.50 : 1	1230.72	324.90	1555.63

† Fuente: Caballero y Zermeño (1993).

‡ USA es Estados Unidos de América.

**Cuadro 18. Participaciones relativas: observadas y potenciales, de seis Provincias Agronómicas, en la producción de maíz, en la República Mexicana.**

Provincia Agronómica	Superficie†	Producción de maíz†		Unidades de producción‡		
		Observada	Potencial	Relat	Absol	Superficie de maíz por predio+
			%		miles	ha
Riego	13.6	29.5	26.0	4.3	122	7.70
MBP++	13.1	17.7	15.0	5.4	155	5.80
BP	12.7	15.6	13.6	5.3	151	5.80
MP	45.4	32.5	43.0	63.6	1812	1.72
bP	10.0	3.8	1.9	14.0	398	1.72
tm	5.2	0.9	0.4	7.3	209	1.72
Total	6.87	12.68	25.77	100.0	2848	2.41
	x10 <sup>6</sup> ha	x10 <sup>6</sup> t	x10 <sup>6</sup> t	%	x10 <sup>3</sup>	ha

† Participación relativa, según el Cuadro 6. Las producciones relativas observadas y potenciales, según el quinquenio 1985-1989; rendimientos según Cuadro 10.

‡ Según la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos, citada por Caballero y Zermeño (1993); información de PRONAMAT y cálculos de los autores.

+ En PRONAMAT se estimó la superficie de maíz promedio por predio, en las PAM de Riego y de MBP y BP. Se supuso que la superficie promedio por predio en las tres PAM restantes era del mismo orden de magnitud.

++ MBP es la Provincia Agronómica de Muy Buena Productividad; BP es la de Buena Productividad; MP es la PA de Mediana Productividad; bP es la PA de Baja Productividad, y tm es la PA de Tierras Marginales.

INIFAP. Según evidencias previas, el rendimiento promedio potencial en esta PAM, podría ser similar al de la PAM de Buena Productividad. Por lo tanto, es de carácter estratégico realizar su estudio para enriquecer las políticas de fomento a la producción de maíz. Y lo es también, porque dentro de esta PAM opera la inmensa mayoría de unidades de producción que, hasta ahora, aparecerían como económicamente inviables.

En el Cuadro 18 se destacan las contribuciones observadas y potenciales de las seis PAM, en el quinquenio 1985 a 1989. La superficie cosechada de maíz en la PAM de MP representa 45.4 % del total. En el quinquenio 1985 a 1989, el monto de maíz cosechado en esta PAM, representó 32.5 % de la producción total, que los autores conjeturan, podría alcanzar a ser 43 % de la producción potencial total. Si la participación de la PAM de MP es tan total para la autosuficiencia nacional de maíz, no lo es menos por su importancia de tipo social. Estimamos que casi las dos terceras partes de los predios productores de maíz, están en esta PAM.

Como puede corroborarse en detalle en el estudio de Turrent (1986), los rendimientos medios de maíz estimados para las PAM de BP y de MP en el período anterior a los años 80, son 2.66 t ha<sup>-1</sup> y 2.49 t ha<sup>-1</sup>, respectivamente. El PRONAMAT mostró que el rendimiento promedio para la PAM de BP bajo la tecnología más reciente del INIFAP fue de 3.80 t ha<sup>-1</sup> en 1989 (Turrent et al., 1991a). Por tal se presume que

el promedio para MP sería de 3.5 t ha<sup>-1</sup> en la actualidad, e incrementable a 3.80 t ha<sup>-1</sup> en los próximos 10 años.

El estudio de Puente (1994) aporta información que sugiere que una parte, por lo menos, de las tierras de la PAM de MP manejadas con la tecnología más reciente del INIFAP, tendría ventajas comparativas. En el Cuadro 19 se muestran las relaciones para seis estados, entre: (a) las superficies de maíz con ventaja comparativa (Puente, 1994); (b) las superficies de las PAM de riego, MBP y BP; y (c) las superficies de las PAM de MP. Es necesario recordar que el estudio que se cita cubre tan solo 89 % de la superficie cosechada de maíz en 1991 y 1992, en tanto que, el estudio de PRONAMAT considera la totalidad.

Con la excepción de Chiapas, las superficies con ventaja comparativa superan ampliamente a las superficies dentro de las PAM de riego, MBP y BP. Las diferencias son menores a las superficies dentro de la PAM de MP. Este menor monto se explicaría, en parte, por la menor superficie comprendida en el estudio que se cita. De todos modos, esta evidencia apoya la posibilidad de que el maíz producido en la PAM de MP, con la tecnología más reciente del INIFAP, pueda tener ventaja comparativa.

En el Cuadro 6 destacan los estados de Jalisco, México, Guerrero, Michoacán, Puebla, Chiapas, Guanajuato y Oaxaca, como los más grandes que, colectivamente, reúnen más de 2.2 millones de

**Cuadro 19. Correlación entre las superficies con ventaja comparativa para el cultivo de maíz en seis estados y las superficies de las Provincias Agronómicas de Riego, Muy Buena, Buena, y Mediana Productividades.**

Estado	Superficies cosechadas de maíz			
	Con ventaja comparativa†	PAM riego+ MBP+BP‡	Diferencia	PAM MP
	----- miles de ha -----			
México	423	271	152	302
Jalisco	421	143	278	590
Guanajuato	356	90	266	185
Chiapas	336	346	-10	194
Michoacán	247	197	50	230
Guerrero	243	118	125	276

† Según Puente (1994), ver Cuadro 14 de este escrito. El estudio cubre 89 % de la superficie cosechada en 1991 y 1992.

‡ Según Cuadro 6 del presente documento, y las superficies bajo riego de 1992 (SARH, 1993).

hectáreas de maíz dentro de la PAM de MP. Es muy probable que la tecnología actualmente disponible para estas tierras, más lo que es desarrollable en un futuro cercano, en materia de: (a) prácticas de micromodelado del suelo para aumentar la infiltración del agua de lluvia; (b) labranza de conservación y otras prácticas, se haga también competitiva la producción de maíz en esta PAM.

Se aprecian por lo menos tres tareas estratégicas para la comunidad científica que atiende al maíz, para continuar desarrollando ventajas comparativas en el plazo mediano: (1) ha de mejorarse, aún más, la calidad de la tecnología para el cultivo de maíz, hasta lograr que los rendimientos medios técnicamente factibles sean de: (a) 7 t ha<sup>-1</sup> para riego; (b) 5 t ha<sup>-1</sup> en la PAM de MBP; (c) 4.2 t ha<sup>-1</sup> en BP; y (d) 3.8 t ha<sup>-1</sup> en MP; (2) medir la potencialidad productiva actual de la PAM de MP, dado el nivel tecnológico actual en el país; y (3) transferir la tecnología para maíz, que ya está disponible, de manera ordenada y proclive a la asesoría agronómica especializada.

Hay tareas del ámbito de las políticas de desarrollo, también necesarias para continuar con el desarrollo de ventajas comparativas en el maíz. Entre estas: (1) reducir los costos de comercialización del maíz; (2) regular el costo financiero del capital; (3) mejorar la calidad de los servicios de crédito, de seguro y de asesoría profesional; y (4) avanzar en la mecanización de la cosecha del maíz.

Finalmente, hay casi 1 millón de hectáreas cosechadas en las PAM de baja Productividad y de tierras marginales, en las que el riesgo de producir

maíz es demasiado alto, como para considerar una solución solamente agronómica. Sobresalen, por su tamaño, los estados de Zacatecas, Chihuahua Durango y Jalisco. Muy probablemente, sus productores seguirán sembrando maíz, mientras no haya otra fuente de empleo, aunque el cultivo no sea rentable. El estado mexicano habrá de diseñar programas de tipo asistencial en su socorro. En otra ponencia, el autor examina algunas soluciones factibles, que involucran introducir flexibilidad a las unidades de producción, mediante cambios de tipo estructural (Turrent, 1993).

## CONCLUSIONES

1. A partir de los años 70, el motor principal del incremento en la producción de maíz en México ha sido el incremento en los rendimientos bajo temporal y bajo riego y, en menor medida, el incremento en la superficie bajo riego.
2. El campo mexicano tiene técnicamente la posibilidad de producir 25 millones de toneladas anuales de grano de maíz, sin cambiar el uso actual de la tierra. Es prerequisite para alcanzar tal producción, que se transfiera la tecnología de producción actualmente disponible en el país. Hacia el año 2010, el campo mexicano podría ampliar su potencialidad productiva hasta 28 millones de toneladas anualmente, sin cambiar el uso actual de la tierra.
3. Si el consumo aparente de maíz es de 22.3 millones de toneladas anualmente hacia el año 2010, el campo mexicano podrá satisfacer esa demanda, aún con una contracción en su superficie cosechada con maíz, hasta 4.5 millones de ha, en la que se eliminara a las tierras de labor con menor calidad agronómica.
4. Hay evidencias de que el campo mexicano puede seguir produciendo maíz competitivamente en 2.7 millones de ha, aún después de la desregulación del mercado regional de maíz, siempre y cuando se continúe con el proceso de desarrollar ventajas comparativas.
5. Hay evidencias indirectas de la posibilidad de que el maíz producido en la PAM de Mediana Productividad, tuviera ventaja comparativa si se manejara con la tecnología más reciente del INIFAP. La gran magnitud de los recursos sociales y de tierra, dedicadas al cultivo del maíz en esta PAM, hace de interés estratégico el estudio de sus posibilidades técnicas de producción, para reforzar la seguridad alimentaria del país en los próximos 15 años.

6. Algunos prerequisites del desarrollo de ventajas comparativas son: (1) avance tecnológico sensible a la tipología de los productores, y transferencia inmediata a través de un sistema nacional de asesoría agronómica especializada; (2) la reducción efectiva de los costos de comercialización: acopio, almacenamiento, mermas, fletes; y (3) regulación del costo financiero del capital y mejoría en los servicios bancarios.

### LITERATURA CITADA

- Barkin D. 1993. Desarrollo agropecuario sostenible y equilibrios macroeconómicos y sociales. pp. 203-215. *In: Alternativas para el Campo Mexicano*. Fontamara. México, DF.
- Borlaug N.E. y C.R. Dowsell. 1994. Feeding a human population that increasingly crowds a fragile planet. Keynote conference. Supplement to Transactions 15th International Congress of Soil Science. Acapulco, México.
- Bourges Rodríguez, H. 1992. Instituto Nacional de la Nutrición "Salvador Zubirán". Vasco de Quiroga No. 15. Tlalpan. México DF. (Comunicación personal).
- Caballero Urdiales E. y F. Zermefio López. 1993. Condiciones competitivas de la agricultura del maíz en México. Nuevo Horizonte Editores. México, DF.
- FAO. 1993. Agricultura: Hacia el año 2010. Conferencia de la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Noviembre de 1993. Roma, Italia.
- González Acuña I.J., A. Turrent Fernández y R. Aveldaño Salazar. 1991. Las provincias agronómicas de la tierra de labor bajo temporal, en México. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales y Agropecuarias. México, DF. Informe sin publicar.
- López Luna A., B. Villar Sánchez, W. López Báez, A. Zamarripa Morán, E. Garrido Ramírez y A. Turrent Fernández. 1993. Manual de Diagnóstico-Recomendación para la producción sustentable de maíz en Chiapas. Centro de Investigación Regional del Pacífico Sur. INIFAP. Ocozocuatla de Espinosa, Chiapas.
- Puente González, A. 1994. Indicadores económicos de la producción de maíz en México. INIFAP. México, DF.
- Salinas de Gortari, C. 1991a. Iniciativa de Ley para la reforma del Artículo 27 Constitucional. Presidencia de la República. México, DF.
- Salinas de Gortari, C. 1991b. Tercer Informe de Gobierno. Presidencia de la República. México, DF.
- SARH. 1990. Aportaciones del INIFAP a la autosuficiencia de maíz, frijol, trigo y arroz. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales y Agropecuarias. Informe sin publicar. México, DF.
- SARH. 1992a. El sector agropecuario en las negociaciones del Tratado de Libre Comercio. Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos. Documento de circulación interna. México, DF.
- SARH. 1992b. Anuario estadístico de la producción agrícola de los Estados Unidos Mexicanos: 1991. Tomo I. Dirección General de Estadísticas. Subsecretaría de Planeación, SARH. México, DF.
- SARH. 1993a. Procampo: Vamos al grano para progresar. Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos. Documento de circulación interna. México, DF.
- SARH. 1993b. Anuario estadístico de la producción agrícola de los Estados Unidos Mexicanos: 1992. Tomo I. Dirección General de Estadísticas. Subsecretaría de Planeación, SARH. México, DF.
- SARH. 1994. Anuario estadístico de la producción agrícola de los Estados Unidos Mexicanos: 1993. Tomo I. Dirección General de Estadísticas. Subsecretaría de Planeación, SARH. México, DF.
- Turrent Fernández, A. 1976. El agrosistema, un concepto útil dentro de la disciplina de productividad. Colegio de Postgraduados. Chapingo, México.
- Turrent Fernández, A. 1986. Estimación del potencial productivo actual de maíz y frijol en la República Mexicana. Colegio de Postgraduados. Montecillo, México.
- Turrent Fernández A. 1993. Aprovechamiento de la tierra de labor, tecnologías y posibilidades de autosuficiencia alimentaria. *In: Alternativas para el Campo Mexicano*. Fontamara. México, DF.
- Turrent Fernández A., R. Aveldaño Salazar, D. González Eguiarte, J. Ortiz Cereceres, A. Caetano de Oliveira, A. González Estrada, G. Longoria Garza y A. Espinosa Calderón. 1991a. El programa nacional de maíz de alta tecnología: PRONAMAT. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales y Agropecuarias. México, DF. Documento sin publicar.
- Turrent Fernández A., J.L. Aguilar Acuña, J.L. Zúñiga González, V.A. Esqueda Esquivel y J. Villanueva Barradas. 1991b. Manual de diagnóstico-recomendación para el cultivo de maíz en el estado de Veracruz. Centro de Investigación Regional del Golfo-Centro. INIFAP. Veracruz, Veracruz.
- Turrent Fernández A., R. Leyva Sánchez, A. Espinosa Calderón, R. Garza García, R. Moreno Dahme y R. Aveldaño Salazar. 1992a. Manual de Diagnóstico-Recomendación para el cultivo de maíz en el estado de México. Centro de Investigación Regional del Centro. INIFAP. Chapingo, México.
- Turrent Fernández A., R. Mendoza Robles, J.I. Cortés Flores, R. Aveldaño Salazar y R. Moreno Dahme. 1992b. Manual de Diagnóstico Recomendación para el cultivo de maíz en el estado de Puebla. Centro de Investigación Regional del Centro-INIFAP. Puebla, Puebla.
- Turrent Fernández A., G. Espinosa Sánchez, R. Moreno Dahme y C. Turrent Fernández. 1992c. La asesoría agronómica moderna para maíz. Gobierno del estado de Veracruz-Llave. Jalapa de Enriquez, Veracruz.
- Turrent Fernández A., I.J. González Acuña, R. Aveldaño Salazar, y M. Ortiz Valdéz. 1994a. El sistema PRONAMAT de Diagnóstico-Prescripción para el cultivo de maíz: I. El subsistema cartográfico. *Terra* 12: 150-158.
- Turrent Fernández A., J.L. Zúñiga González, R. Moreno Dahme, y R. Aveldaño Salazar. 1994b. El sistema PRONAMAT de Diagnóstico-Prescripción para el cultivo de maíz: II. El diseño de manuales de Diagnóstico-Prescripción. *Terra* 12: 159-168.
- Turrent Fernández A., J. P. Pérez Camarillo, R. Gómez Mercado, R. Garza García, F. Alemán Ruiz, R. Moreno Dahme y R.

- Aveldaño Salazar. 1994c. Manual de Diagnóstico-  
Prescripción para el cultivo de maíz en el estado de Hidalgo.  
Centro de Investigación Regional del Centro. INIFAP.  
Pachuca, Hidalgo.
- Turrent Fernández A., J.L. Zúñiga González, J. Ruíz Ramírez, G.  
Espinosa Sánchez, H. Díaz Cisneros y B. Peña Olvera.  
1994d. El Programa Nacional de Maíz de Alta Tecnología:  
El PRONAMAT Veracruz. Colegio de Postgraduad  
Campus Puebla, Puebla.
- Turrent Fernández A. 1994e. Plan de investigación del sisten  
maíz-tortilla en la región centro. Centro de Investigació  
Regional del Centro. INIFAP. Chapingo, México.
- World Resources Institute (WRI). 1993. World Resources 199  
1993. Oxford University Press, New York.

**DESARROLLO DE AGROECOSISTEMAS SOSTENIBLES Y EL MANEJO INTEGRADO DE RECURSOS:  
EL MARCO CONCEPTUAL DE INVESTIGACION DEL CENAPROS**  
**Development of Sustainable Agro-ecosystems and the Integrated Management of Resources:  
the Conceptual Research Framework of CENAPROS**

**Mario Tiscareño López<sup>1</sup> y Ramón Claverán Alonso**

**RESUMEN**

Ante el rápido deterioro de los recursos naturales del país, el Centro Nacional de Investigación para Producción Sostenible del INIFAP decide reenfocar la investigación científica con la finalidad de generar tecnología que le permita al país alcanzar la sostenibilidad en la productividad agropecuaria y forestal así como la conservación de los recursos naturales. El documento presenta un marco conceptual de investigación para el Manejo Integrado de Recursos Naturales donde se emplea un enfoque holístico y de procesos biofísicos para el estudio de las relaciones causa-efecto que se presentan en los procesos de producción y utilización de los recursos naturales. Esta estrategia tiene como finalidad la generación de tecnología integral para sistemas de producción sostenibles alternativos bajo el contexto de agroecosistemas, ya que se requiere promover la biodiversidad de las especies cultivadas en las unidades de producción, el reciclaje de nutrientes, conservación del suelo y el agua y la reducción de los insumos externos, por mencionar algunos. La aplicación de herramientas modernas, tales como los modelos de simulación, pueden ayudar a la integración de agroecosistemas; sin embargo, el concepto holístico presenta nuevos retos metodológicos para el análisis e interpretación de resultados debido a la complejidad de los agroecosistemas. Además, se visualiza la necesidad de identificar la tecnología requerida con base en las necesidades locales, a través de la investigación básica y aplicada de tal manera que la

validación y transferencia de tecnología esté en armonía con las decisiones propias del productor.

*Palabras clave: Recursos naturales, biodiversidad, sistemas de productividad.*

**SUMMARY**

Facing the rapid deterioration of the natural resources of Mexico, the National Center of Investigation for Sustainable Production (CENAPROS) of the National Institute of Forestry, Animal Science and Agricultural Research (INIFAP) decided to re-focus the scientific investigation with the aim to generate technology which will permit Mexico to reach sustainability in agricultural and forestal productivity as well as the conservation of the natural resources. This document presents a conceptual research framework for Integrated Management of Natural Resources, where an approach, holistic and based on biophysical processes, is applied for the study of the cause-effect relationships present in the production processes and the utilization of the natural resources. This strategy aims to the generation of an integral technology for alternative sustainable production systems under the context of agro-ecosystems, since promotion is required of: biodiversity of the cultivated species in the production units, nutrient recycling, soil and water conservation, and reduction of external inputs, among others. The application of modern tools, such as simulation models, could help to integrate the agro-ecosystems; nevertheless, the holistic paradigm presents new methodological challenges for the analysis and interpretation of results because of the complexity of the agro-ecosystems. Furthermore, the need is visualized to identify the required technology based on local requirements, through basic and applied research, so that the validation and transference of technology is in harmony with the producer's own decisions.

<sup>1</sup> Centro Nacional de Investigación para Producción Sostenible, Centro de Operaciones La Carreta, Km 18 Carr. Morelia-Aeropuerto, Apartado Postal 7-116, 58260 Morelia, Mich. Tel: (43) 2-31-28, 2-31-73. Fax (43) 2-31-72 correo-elec: tiscam@cenapros.inifap.conacyt.mx

*Index words:* Natural resources, biodiversity, production systems.

## INTRODUCCION

Las altas tasas de deterioro de los recursos naturales en México a causa de la tecnología actual orientada a lograr altos niveles de productividad, ha motivado a buscar nuevos sistemas de producción que no pongan en riesgo la conservación de la base de los recursos naturales. Sin embargo, al mismo tiempo, es necesario obtener niveles adecuados de producción con el fin de satisfacer las demandas de alimentos, fibras y madera para una creciente población.

Se estima que aproximadamente 80 % de los suelos de México presentan una degradación moderada a severa como resultado del proceso de erosión (Anaya-Garduño, 1989) equivalente a una degradación específica anual de 2.8 toneladas de suelo por hectárea (Figueroa y Ventura, 1990). Aunque hasta el momento se desconoce la consecuente pérdida de fertilidad y capacidad de retención de humedad de los suelos de México como resultado de la erosión, se ha cuantificado que alrededor de 54 millones de hectáreas de terrenos agropecuarios y forestales han sido los más afectados. Las externalidades del proceso de erosión a nivel de cuenca se han cuantificado sólo parcialmente, se ha calculado que 70 % del suelo erosionado llega al mar y 30 % restante es depositado en lagos, ríos y estructuras hidráulicas (McIntire, 1995), lo cual indica que las pérdidas parcelarias son mayores que el índice nacional de degradación específica ( $2.8 \text{ t ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ ).

En las áreas agrícolas del país la sobreexplotación de los mantos acuíferos ha contribuido a crear problemas en los suelos tales como agrietamientos, compactación, subsidencia y, por supuesto, el agotamiento del recurso. En la Comarca Lagunera las altas tasas de bombeo de mantos freáticos profundos han inducido la presencia de sales de arsénico a niveles que superan las normas de tolerancia para la salud de los humanos (Cubillas Castro, 1986). Las tierras del país afectadas por la salinidad suman alrededor de 600 mil hectáreas, tan sólo en el Valle de Mexicali las sales en el agua de riego han dañado a más de 200 mil hectáreas de tierras irrigables (Oyarzábal-Tamargo, 1978).

Por otra parte, la base de la biodiversidad animal y vegetal del país se está perdiendo a un ritmo sin precedentes. De acuerdo con la organización World

Resources Institute de la Gran Bretaña (1993) de 1970 a 1990 la extensión de selvas tropicales del sureste de México se redujo en 75 % y el bosque templado de coníferas disminuyó en 30 %. Tan sólo la ganadería es responsable de la destrucción de 590 mil hectáreas anuales de bosques templados y selvas tropicales y su productividad se reduce a solo nueve kilogramos de carne por hectárea por año (González, 1988). Sin embargo, la ganadería no sólo ha impactado a las zonas templadas y tropicales. En las zonas áridas y semiáridas del norte del país el sobrepastoreo ha causado altos índices de desertificación, debido al empobrecimiento y disminución de potencial biológico (animal y vegetal), alcanzando en algunos lugares sus últimas consecuencias para cualquier forma de vida (Medellín, 1978).

Ante estas circunstancias es urgente combatir los problemas de deterioro ecológico y baja productividad a través del cambio global de las instituciones y los sistemas de producción con el propósito de lograr un desarrollo basado en los conceptos de sostenibilidad. Esto es, el manejo y la conservación de los recursos naturales y la orientación del cambio tecnológico e institucional, de tal manera que se asegure la continua satisfacción de las necesidades humanas para las generaciones presentes y futuras. Este desarrollo viable en los sectores agrícola, pecuario y forestal conserva la tierra, el agua y los recursos genéticos vegetales y animales, no degrada el medio ambiente y es técnicamente apropiado, económicamente viable y socialmente aceptable (FAO, 1991).

Este documento tiene el objetivo de presentar un marco conceptual para la realización de la investigación sobre Agroecosistemas y sus relaciones con el Manejo Integrado de Recursos Naturales como parte de las actividades del Centro Nacional de Investigación para Producción Sostenible, el cual tiene como tarea fundamental la generación de tecnología para la producción agropecuaria y forestal bajo el contexto de sostenibilidad.

## EL CENAPROS

El Centro Nacional de Investigación para Producción Sostenible (CENAPROS) se crea en 1995 por iniciativa del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales y Agropecuarias de la Secretaría de Agricultura, Ganadería y Desarrollo Rural, y bajo el apoyo de la Fundación Mexicana para la Investigación

Agropecuaria y Forestal, A.C., con la finalidad de generar tecnología que le permita al país alcanzar la sostenibilidad en la productividad agropecuaria y forestal y la conservación de la base de los recursos naturales. El CENAPROS se localiza en el municipio de Alvaro Obregón, Michoacán, en el km 18 de la carretera Morelia-Aeropuerto, y geográficamente en los paralelos 19°48' de latitud norte y 101°03' de longitud oeste, a una altitud de 1,822 m en la región fisiográfica denominada Bajío Michoacano donde predominan suelos profundos Vertisoles con alto potencial agrícola.

La filosofía del CENAPROS se basa en la estructura y los procesos que ocurren en la organización natural, tan frecuentemente olvidados, donde todos los fenómenos están interconectados y no existe ninguna acción aislada, todas ellas tienen efectos directos, a corto o largo plazo, en el ecosistema. Lo anterior puede ser compatible con los sistemas de producción diseñados por el hombre, siempre y cuando se establezca un balance de equilibrio. Está comprobado que a medida que las actividades de producción se orientan en el sentido que guardan los procesos de la naturaleza, aumentan las posibilidades de éxito para producir sostenidamente alimentos y otros satisfactores de origen agrológico que requiere la sociedad (Altieri, 1995; Madden, 1989; National Research Council, 1989).

La generación de tecnología para la productividad y conservación de los recursos naturales está fundamentada en identificar indicadores de sostenibilidad biológica y económica en los sistemas naturales y de producción, los cuales sirvan como parámetros para evaluar a la nueva tecnología, así como para obtener información referente a valores críticos de variables ambientales que sirvan de soporte a los estudios de impacto ambiental y de conservación de recursos naturales.

Las relaciones causa-efecto, que se presentan en los procesos de producción y la utilización de los recursos naturales, se estudian bajo un concepto holístico con la finalidad de entender las interacciones de todos los factores que intervienen en los sistemas de producción, de tal manera, que el resultado sea una tecnología integral en la cual la mayoría de sus componentes han sido ajustados (Figura 1). Además, este enfoque holístico permite orientar recursos físicos e intelectuales al entendimiento de lo que es inherentemente complejo y poder descifrar lo que es

urgente y lo que es irrelevante para la definición de quehaceres individuales dentro de un equipo de investigación multidisciplinaria (CENAPROS, 1995).

Sin embargo, el propósito del enfoque holístico está orientado en primera instancia a entender el funcionamiento del sistema como un todo, pero no necesariamente omite el estudio de cada una de las partes que integran al sistema, sino por el contrario permite identificar las partes o componentes esenciales de éste. Es de vital importancia el ajuste de componentes en los sistemas de producción, a través del estudio de procesos biofísicos, con la finalidad de entender las interrelaciones básicas entre componentes de los ciclos biogeoquímicos, flujo de la energía y el producto final del sistema, lo cual conlleva a la generación de nuevos conocimientos científicos y tecnológicos.

Este esquema de investigación holístico y de procesos se aplica a los problemas de producción y conservación de los recursos que son identificados por alguna de las cuatro áreas de investigación del CENAPROS: a) Producción Alternativa, b) Control Integrado de Plagas y Enfermedades, c) Energía en los Sistemas y d) Manejo Integrado de Recursos Naturales. El resto del presente documento hace énfasis en el marco conceptual de la investigación del área de Manejo Integrado de Recursos Naturales.

## MANEJO INTEGRADO DE RECURSOS NATURALES

En esta área se investigan las relaciones existentes en los sistemas de producción en lo que se refiere a su complementariedad y relaciones integrales entre cada sistema y sus recursos naturales. Es factible utilizar escenarios naturales y artificiales como es la unidad de producción, el municipio, la cuenca hidrológica, la región fisiográfica, el distrito de desarrollo rural, el estado e incluso el país. La unidad natural mejor adaptada para el estudio de los sistemas de producción es la cuenca hidrológica, ya que el concepto define los límites geográficos de grupos de unidades de producción que interaccionan con los recursos naturales de una región y que de alguna manera afectan al régimen del ciclo del agua. Además, la cuenca puede ser estudiada bajo el concepto de sistemas, ya que las relaciones entre las entradas y salidas del sistema pueden ser evaluadas como un flujo de materia y energía utilizando modelos matemáticos.

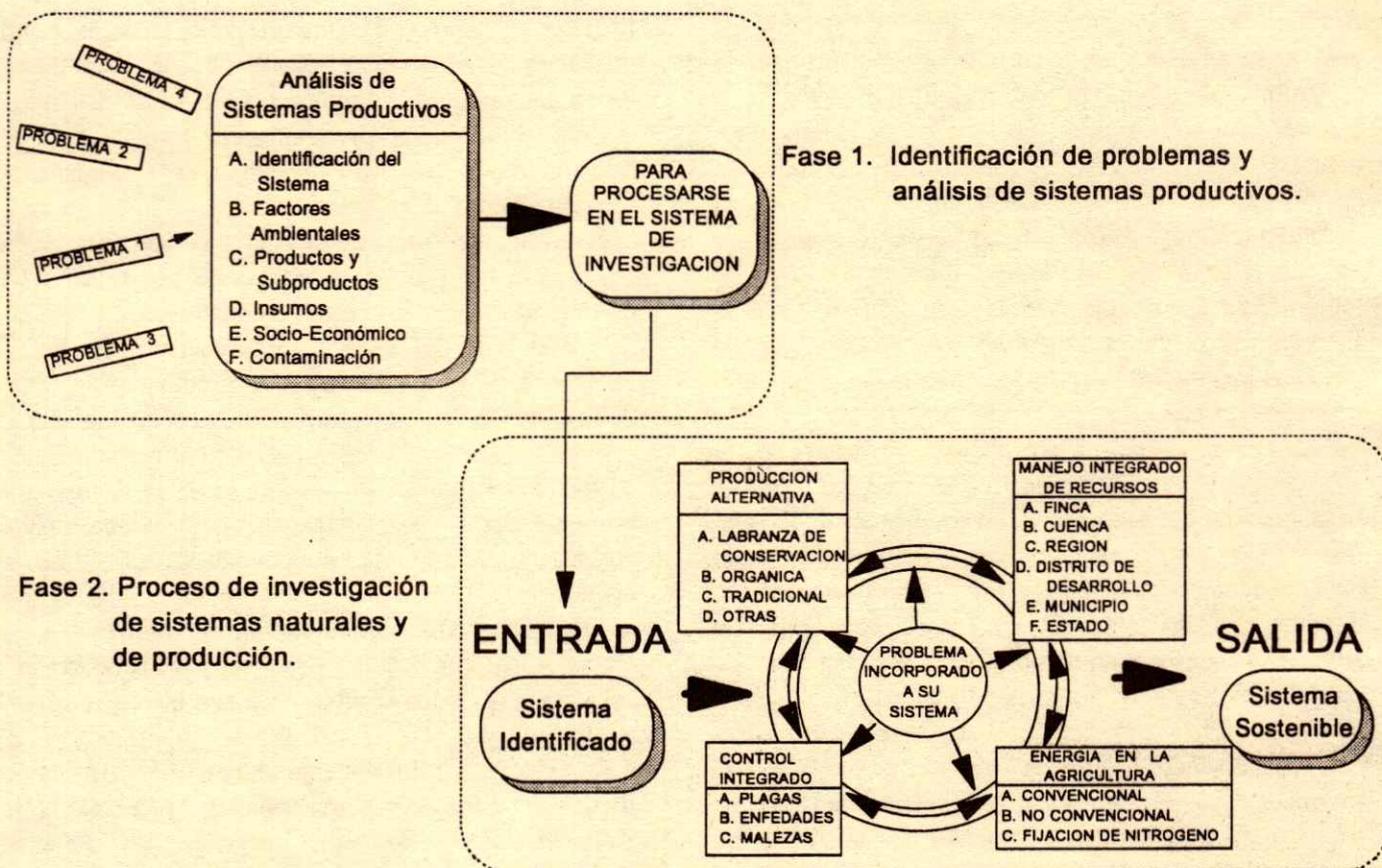


Figura 1. Fases de la investigación holística del CENAPROS: 1) identificación y análisis de problemas que afectan a la productividad de los sistemas de producción, 2) ajuste integral de los sistemas de producción por las cuatro áreas de investigación multidisciplinaria.

El modelaje de procesos biofísicos es una herramienta útil para evaluar escenarios de manejo dentro de los sistemas de producción y hacer recomendaciones a corto plazo, como alternativas de solución a los problemas de productividad, conservación y manejo de recursos, así como de rentabilidad financiera de las operaciones en el ámbito geográfico definido por el Potencial Productivo de las plantas, determinado por medio de un Sistema Geográfico de Información (Tapia *et al.*, 1995).

El área de investigación de Manejo Integrado de Recursos Naturales para la generación de sistemas de producción sostenibles alternativos contempla los objetivos siguientes: 1) Compilar la tecnología generada por las otras áreas de investigación del CENAPROS con la finalidad de recomendar tecnología integral. 2) Identificar indicadores de sostenibilidad biológica en los sistemas naturales y de producción, a través del estudio de procesos biofísicos

los cuales ayuden a entender y hacer eficientes los flujos de materia y energía para integración de sistemas de producción bajo el concepto de agroecosistemas. 3) Desarrollar y aplicar modelos de simulación basados en procesos biofísicos los cuales permitan integrar sistemas de soporte de decisiones orientados a asistir a los agentes de cambio en la selección de tecnología apropiada.

Para el logro de los objetivos mencionados se han propuesto cuatro líneas de investigación que definen las acciones para la generación y aplicación de tecnología: a) Conservación de los recursos agua, suelo y planta. b) Recuperación de aguas y suelos contaminados. c) Eficiencia en los flujos de la energía en los sistemas de producción. d) Desarrollo y aplicación de modelos de simulación para la predicción de las respuestas de los sistemas y la extrapolación de la información a otras regiones México (Figura 2).

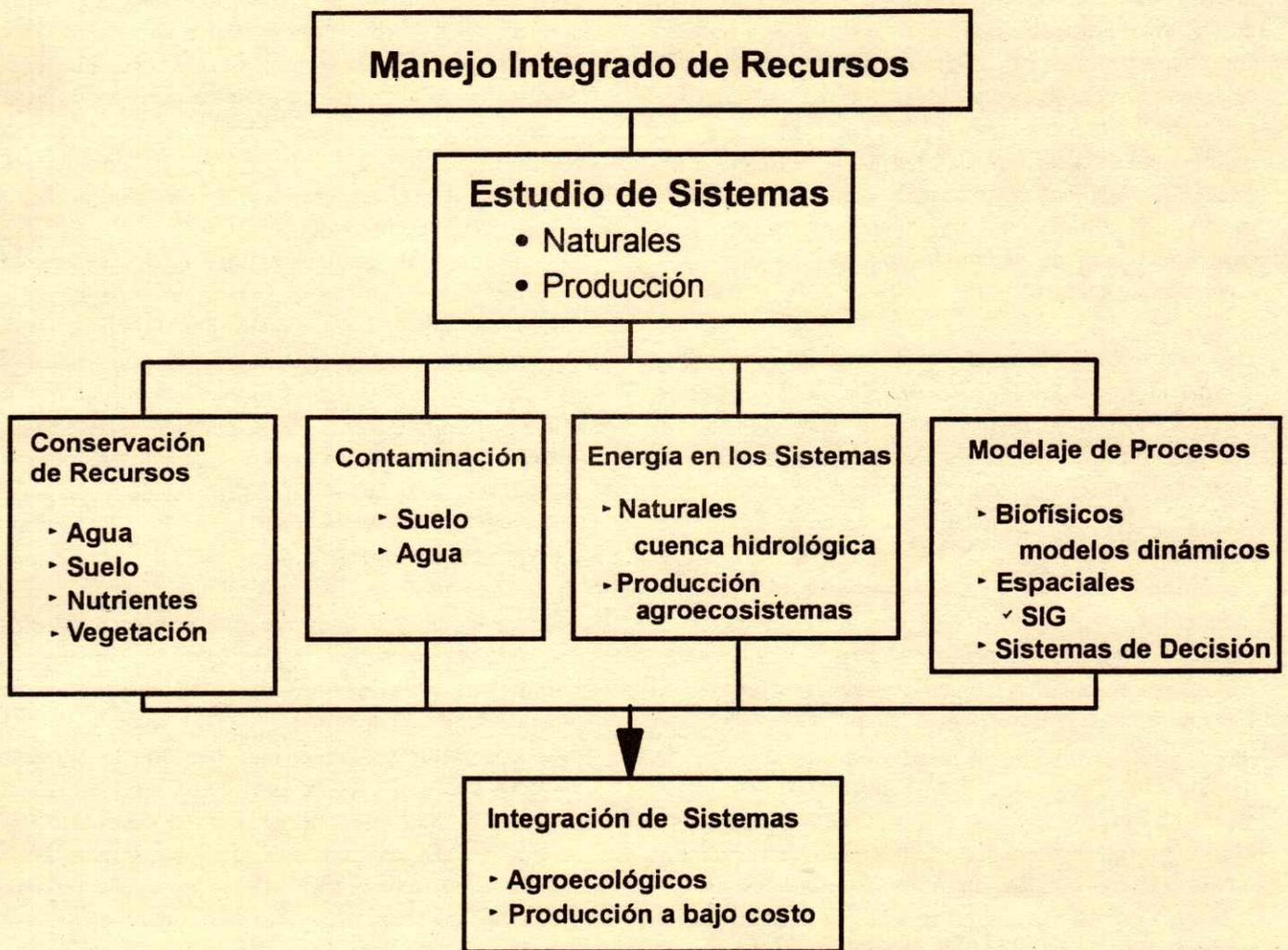


Figura 2. Líneas de investigación del área de Manejo Integrado de Recursos Naturales del CENAPROS.

### Cuenca Hidrológica: Unidad Experimental

Por ser la cuenca hidrológica la unidad geográfica de la naturaleza, esta unidad es la que más facilita el estudio de procesos para la evaluación de los efectos interactivos entre sistemas con el ambiente. Por eso, en la actualidad, la cuenca hidrológica no sólo se ha convertido en la unidad estratégica geográfica para la investigación, sino también para la toma de decisiones en los programas de protección de recursos naturales, ya que la cuenca considera un sinnúmero de factores relacionados con la formación geohidrológica, la estructura ecológica y los problemas socioeconómicos que atentan al deterioro del ambiente.

Geográficamente, la cuenca hidrológica es un área en la que el agua, sedimentos y materiales disueltos

drenan a una salida común, un punto a lo largo de un río, lago, acuífero, estuario o al océano. Esta propiedad permite analizar a la cuenca bajo el concepto de sistemas, ya que existen variables de entrada que son procesadas por los componentes que integran el sistema para producir una salida o respuesta. Las relaciones entre las entradas y salidas pueden evaluarse como un flujo de materia y energía, las cuales pueden explicarse con gran precisión mediante modelos matemáticos. El balance hidrológico y el flujo de la energía son dos casos donde se aplican modelos de procesos para cuantificar la magnitud con que el agua y la energía solar son transferidas de un componente a otro dentro de sus respectivos ciclos.

El uso de especies vegetales de alta eficiencia fotosintética, con tasas de evapotranspiración

inferiores a otras especies nativas o introducidas, tiene un efecto significativo directo en la fijación de la energía solar a través de la producción de biomasa y en el agua disponible para escorrentía y recarga de acuíferos. Las respuestas de la cuenca a las modificaciones del flujo de energía y ciclo del agua pueden ser estimadas con un mínimo error, usando modelos de simulación, sin tener que recurrir a la experimentación de campo la cual resulta costosa y con resultados a largo plazo.

**Uso múltiple de los recursos.** El manejo integrado y la sostenibilidad en la conservación de los recursos naturales vienen coadyuvados por el concepto del uso múltiple de los recursos. Esto es particularmente importante en lugares donde gran parte de la población depende de una variedad de recursos que son producidos en la cuenca. Actualmente, ya son notorios los estragos ocasionados por la agricultura intensiva, monocultivo, sobrepastoreo y tala inmoderada en la pérdida del suelo y calidad del agua cuando las actividades se orientan a un solo producto.

Es importante enfatizar que el propósito del uso múltiple de los recursos se conceptualiza como la combinación presente y futura más benéfica de las prácticas de manejo de los recursos naturales y agropecuarios encaminada a lograr la diversificación y maximización de los ingresos económicos de la población que utiliza los recursos de la cuenca. En los proyectos de rehabilitación dirigidos a reducir la erosión y sedimentación nunca se debe olvidar la importancia de la producción de los bienes y servicios resultantes de utilizar los recursos de la cuenca. La filosofía de Uso Múltiple debe ser tratada **explícitamente** en la planeación e implementación de proyectos de investigación que contemplen el manejo integrado de recursos.

Para la incorporación efectiva del uso múltiple de los recursos en el manejo de la cuenca, como un medio para la diversificación e incremento de los ingresos, la investigación debe: a) medir los rendimientos de los productos naturales y agropecuarios obtenidos dentro de la cuenca para los sistemas alternativos de manejo bajo consideración, b) cuantificar el conocimiento de los costos y beneficios asociados a cada alternativa, y c) hacer la evaluación de las externalidades, o impactos externos, que están relacionados con cada alternativa de producción implementada en la parte alta de la cuenca y que de alguna manera pueden

afectar a los sistemas de producción de la parte baja de la cuenca (Ffolliott y Brooks, 1986).

Usando a la cuenca hidrológica como unidad ecológica de investigación, la instrumentación debe ser dirigida a obtener todos aquellos elementos e indicadores de sostenibilidad en la conservación de los recursos naturales que el sistema de producción utiliza de manera directa o indirecta (Cuadro 1).

Se reconoce que la funcionalidad de los sistemas de producción sostenibles está basada en la reducción del riesgo biológico y económico por la obtención de productos de varias especies de plantas y animales, utilizados a través del espacio y el tiempo dentro de la unidad de producción (rotaciones y secuencias de cultivos), además por la incorporación de prácticas que promueven el reciclaje de nutrientes, así como la conservación del suelo y del agua como estrategias para preservar la integridad biológica del ecosistema.

El resquebrajamiento de los ciclos biológicos y su consecuente pérdida de productividad que caracteriza a los sistemas intensivos y extensivos de monocultivo basados en altos insumos, ha obligado al reordenamiento del uso del suelo, de tal manera que las prácticas culturales coincidan con los componentes edáficos que requieren de protección y/o recuperación debido a limitaciones topográficas o de escaso valor productivo. El uso múltiple de los recursos en los sistemas agroecológicos está íntimamente ligado al ordenamiento territorial del uso del suelo y la conservación de los recursos naturales a través de la correcta ubicación de los sistemas de cultivo en relación a los factores de relieve y geohidrológicos de la cuenca.

### **Integración de Agroecosistemas**

La integración de esta tecnología surge por la necesidad y el creciente interés de restaurar la racionalidad ecológica en la producción agrícola y por proceder con ajustes importantes en la agricultura convencional, con el fin de hacerla viable y compatible con el ambiente, la sociedad y la economía. La integración de tecnología bajo el concepto de agroecosistemas es una alternativa a los problemas de pérdida en la productividad de los sistemas de producción convencional y del constante incremento en los insumos requeridos para mantener más o menos estable la producción, tal como lo demuestra Altieri (1995).

**Cuadro 1. Indicadores de sostenibilidad a registrar en las tomas de datos.**

Elemento	Descriptor	Ejemplos de indicadores
Agua	Cantidad	Volumen, flujo, piezo de descarga
	Calidad	OD, BOD, N-NO <sub>3</sub> , N-NO <sub>2</sub> , CaCO <sub>3</sub> , SST, otros elementos químicos
	Accesibilidad	Número de pozos, hectáreas irrigables
	Confiabilidad	Caudal mínimo y máximo
	Cuerpos de agua	Volumen almacenado, tasa de sedimentación, nivel de eutroficación
Suelo	Fertilidad	Nutrientes disponibles, flora microbiana, salinidad, materia orgánica
	Erosión	Mensual, anual, relación erosión-sedimentación, fuga de nutrientes
	Contaminación	Percusión de pesticidas y nutrientes al acuífero, residuos tóxicos
Vegetación	Cobertura	Área nativa, área de cultivo, porcentaje del año sin cubierta
	Biomasa	Productividad primaria en áreas agrícolas y naturales
	Diversidad	Especies nativas e introducidas
Fauna	Población	Nº. total de especies, nº. de especies amenazadas
	Hábitat	Densidad, área de los refugios naturales, áreas riparianas
Sistema de producción	Productividad	Biomasa cosechada por unidad de área
	Calidad / Toxicidad	Frutos, forrajes y productos agrícolas cosechados
	Autosuficiencia	Volumen de insumos externos (agroquímicos, capital, energía)
	Estabilidad	Rentabilidad, costos de producción, relación beneficio-coste
	Equitabilidad	Producción per cápita y disponibilidad del producto cosechado
	Diversidad	Nº. de especies y productos cosechados, uso múltiple del suelo
	Adaptabilidad	Nº. de años en el mercado, años con beneficio / años perdidos
Ciclos y flujos	Flujo de la Energía	Relación kilocalorías cosechadas / kilocalorías recibidas (radiación)
	Ciclos Biogeoquímicos	Reciclaje de nutrientes (N, P, K, S, etc.)
	Ciclo Hidrológico	Escurrimiento superficial, recarga de acuíferos, evapotranspiración

Los componentes de los sistemas estudiados bajo el concepto de investigación holística y procesos antes mencionados para las diversas escalas geográficas (parcela, cuenca, región) requieren de un proceso integrador el cual permita: 1) evaluar el efecto conjunto en la productividad de todos los componentes que integran el sistema en relación con sus aspectos funcionales de éste, lo cual permita garantizar la sostenibilidad del sistema a proponer, y 2) disponer de tecnología ensamblada en sistemas de producción alternativos como la base a la solución de los problemas de productividad y deterioro de los recursos naturales.

La búsqueda de sistemas agrícolas sostenibles diversificados, de insumos bajos y eficientes en energía, representa un punto de gran interés para el mundo de los investigadores, productores y agentes de cambio tanto del sector público como de organizaciones no gubernamentales (ONGs). La agricultura sostenible, generalmente se refiere a una forma de producir que intenta proporcionar

rendimientos sostenidos en el largo plazo a través de tecnología de corte ecológico. Esto requiere que la agricultura (actividades agrícolas, pecuarias y forestales) sea considerada como un ecosistema (por lo tanto, el término agroecosistema) y, como tal, la investigación agrícola no se centra en obtener altos rendimientos de un cultivo en particular, sino que se centra en la optimización de sistema como un todo (aspecto holístico). Además de los aspectos de la producción, la investigación considera aspectos de la estabilidad y sostenibilidad ecológica (Altieri, 1995).

Los tres principios fundamentales de los agroecosistemas sostenibles son: 1) la conservación de los recursos renovables, 2) la adaptación de cultivos al medio ambiente, y 3) un nivel moderado de la productividad pero sostenible (Cuadro 2).

En la actualidad, el desarrollo científico y tecnológico sobre los principios básicos del manejo de los recursos (i.e., agua, suelo) es relativamente fuerte, pero la habilidad para aplicar estos conocimientos en ambientes complejos es muy débil. Esto se debe a las

**Cuadro 2. Atributos de los agroecosistemas sostenibles (Altieri, 1995).**

1. Reducción del uso de energía y recursos externos.
2. Reducción de la pérdida de nutrientes, erosión y sedimentación, promover el reciclaje de nutrientes a través de leguminosas y abonos orgánicos, compostas, etc.
3. Fomento de la producción local de cultivos adaptados al entorno natural y socioeconómico.
4. Obtención de un producto neto deseable mediante la preservación de los recursos naturales, esto es, minimizando la degradación de los suelos.
5. Reducción de los costos e incremento de la eficiencia y viabilidad económica de los pequeños y medianos agricultores, promoviendo, de paso, un sistema de agricultura diverso y potencialmente resiliente.

complejas interacciones que se presentan entre los diversos factores naturales y de producción que intervienen en la productividad de los agroecosistemas.

Por tradición, la investigación ha sido orientada al estudio de factores aislados con la finalidad de entender el efecto de cada uno de éstos en la productividad del sistema. El enfoque reduccionista que ha caracterizado al método de investigación con bases en la estadística clásica, si bien ha mostrado resultados satisfactorios también lo acompañan severas limitaciones. En la investigación con parcelas experimentales, cierto tipo de fenómenos son ignorados: tales como efectos de variabilidad espacial y temporal resultando en dificultades para extrapolar la información entre localidades, ausencia de los factores socioeconómicos al excluir al tomador de decisiones -el productor-, tecnología incompleta o poco robusta debido al ajuste de factores aislados -método del factor limitante-, e ignorancia o subestimación de los efectos del sistema completo en el ambiente a causa de una filosofía productivista y no conservacionista, sólo por mencionar algunos ejemplos.

Si bien existe el convencimiento de que el enfoque holístico es una estrategia más apropiada para la investigación de agroecosistemas, también es claro que el enfoque holístico ha desatado nuevos retos al tratar de entender las fenomenalmente intrincadas interacciones que resultan entre los diversos componentes del entorno. Nuevamente la necesidad de investigación básica se hace sentir en la definición de métodos matemáticos y estadísticos, aceptados por la comunidad científica, para el análisis de resultados en los agroecosistemas bajo estudio: factores que cambian de manera simultánea, imposibilidad de análisis de varianza por la ausencia de repeticiones, muy elevado

número de tratamientos con base en las opciones de producción lo cual da lugar a ambiguas comparaciones estadísticamente inaceptables, etc.

En síntesis, la agricultura del Siglo 21 debe estar fundamentada en maximizar la eficiencia en el uso del agua, suelo, vegetación y sistemas de labranza. Debemos usar el suelo no sólo como el medio para el crecimiento de los cultivos, sino como el medio para reactivar el reciclaje de nutrientes y sus compuestos para salvaguardar la calidad del ambiente. Es necesario entender la importancia de desarrollar tecnología para la conservación de la energía, de tal manera, que la agricultura en realidad se convierta en un productor primario neto y no en un consumidor neto de energía, tal como se observa en sistemas energético-ineficientes en las unidades de producción sobremecanizadas.

### **Modelaje de Procesos: Naturales y de Producción**

Como ya se explicó anteriormente, un paso importante en la investigación es la integración de componentes en sistemas de producción; sin embargo, en la actualidad existen complejas preguntas hacia el desarrollo de nuevos sistemas de producción orientados a aliviar los actuales problemas de deterioro ambiental. Por ejemplo, existe la necesidad de utilizar nuevas especies forestales capaces de translocar de manera eficiente el CO<sub>2</sub> atmosférico y los metales pesados en suelos contaminados, especies que, a su vez, traerían un beneficio económico por la producción de madera. Sin embargo, en la actualidad no es posible esperar a ver cuales son los efectos de tal sistema de producción en relación con la conservación de los recursos naturales en contacto directo con el sistema. Hay necesidad de cuantificar la cantidad potencial del carbono fijado, requerimientos de agua y como afectará a otros sistemas de producción.

Para contestar las complejas preguntas del caso anteriormente expuesto no existe el tiempo, ni los recursos económicos necesarios para investigar las relaciones entre los diferentes componentes que intervienen en el sistema, así como las alternativas de producción, ni los mejores diseños del sistema para la solución de los problemas. Ante esta imposibilidad conviene utilizar modelos de simulación como herramientas de investigación. La representación matemática de los procesos permite estimar los impactos físicos, biológicos, climáticos, químicos y

ecológicos al evaluar sistemas de producción alternativos.

**Simulación de sistemas.** A cualquier nivel de toma de decisiones es evidente la necesidad de disponer de herramientas que permitan conjuntar información adicional del comportamiento de sistemas de producción para la correcta selección de alternativas para la solución de problemas. Esto es importante debido a la incertidumbre asociada a los sistemas de producción agrícola con la presencia de eventos climáticos y de manejo que directamente afectan el rendimiento de los cultivos.

Los tomadores de decisiones requieren de tecnología que les permita estimar las ventajas y desventajas de las estrategias que se pretenden implementar en el manejo de los sistemas, desarrollar sistemas alternativos para el suministro de energía, evaluar los impactos ambientales de las prácticas agropecuarias y forestales, estimar la competencia por el recurso agua entre los diferentes sistemas de producción que definen el uso del suelo de una región, estimar los recursos y servicios demandados para cada plan del uso del suelo, estimar el potencial de producción de alimentos, fibras y productos forestales de las prácticas de manejo propuestas y, en general, predecir las entradas y salidas de los sistemas de producción agropecuarios y forestales.

Por lo anterior, es necesario contar con modelos integrales confiables y capaces de comparar decisiones alternativas y hacer estimaciones a escala de parcela, granja, cuenca hidrológica, región, estado y país.

Los modelos integrales de la actualidad parten de modelos a escala de parcela que describen las interacciones entre componentes biofísicos del suelo y clima con relación al desarrollo y manejo de los cultivos y animales, así como estimar el impacto ambiental directo ocasionado en áreas homogéneas de cultivos. Sin embargo, es importante no olvidar que la producción agropecuaria y forestal de México se caracteriza por la utilización de varios cultivos dentro de una misma unidad de producción, por lo que la investigación sobre el modelaje de procesos debe orientarse a desarrollar modelos integrales apropiados para representar los sistemas de producción del país.

Por otra parte, muchas decisiones en la agricultura están basadas en resultados agregados en relación con un área o región. Los modelos de cuencas pueden resaltar las ventajas y desventajas de las prácticas en

los cultivos de alto rendimiento orientados a reducir el impacto en la calidad del agua y otras medidas ambientales. Sin embargo, también se requieren modelos regionales que agreguen la producción, economía, demanda de recursos e impacto ambiental a una escala regional para agroindustrias o decisiones sobre políticas de desarrollo rural. Cada uno de estos tipos de modelos debe ser contemplado por el agente de cambio en la planeación del desarrollo sostenible de comunidades, por lo que existe un enlace jerárquico entre los tipos de modelos.

Como primer intento antes de desarrollar modelos de simulación propios, se optó por conjuntar esfuerzos con instituciones de investigación, nacionales e internacionales, con la finalidad de implementar modelos ya desarrollados y probados como altamente efectivos en la predicción de procesos biofísicos en los sistemas de producción. Esta decisión se fundamenta en que existe una gama de modelos que pueden describir varios componentes agropecuarios y biológicos a varios niveles jerárquicos en las escalas de tiempo y espacio.

Ante este esquema, la evaluación de los modelos y, de ser necesario, su modificación deben ser tareas bien definidas. Es imprescindible la identificación del grado de incertidumbre asociado a las predicciones de los modelos al tratar de emular el comportamiento de los sistemas naturales y de producción. La mayoría de los modelos integrales, existentes en la actualidad, han resultado de la resolución de problemas específicos (ej. movimiento de solutos en el suelo, crecimiento vegetal, requerimientos de agua por los cultivos) lo cual ha traído graves problemas de aplicación debido a su complejidad, además de sus asociados problemas de propagación del error, a causa de las imperfecciones en la representación de procesos biofísicos y listas de parámetros muy sensibles a los errores de medición o estimación lo cual hace que las salidas del modelo sean fácilmente sesgadas, tal como se detectó en el modelo WEPP (Tiscareño-López *et al.*, 1995).

Cuando basada en principios y teorías probadas, la simulación en computadoras puede ayudar a reducir los sistemas aparentemente incomprensibles en unidades de componentes ordenados y de proporciones manejables. En el proceso de diseño, operación e intento de validación de un modelo de simulación, se gana profundidad en la funcionalidad del sistema en estudio y en el desarrollo de criterios para predecir el comportamiento futuro del sistema bajo varias

condiciones de estrés. Así, las técnicas de simulación pueden ayudar a economizar, pero nunca a reemplazar, un programa experimental de campo o laboratorio, puesto que de estos últimos proviene la información más valiosa.

**Formación de bases de datos.** Los modelos matemáticos han significado un gran avance para el hombre dentro de sus proyectos para entender el funcionamiento de los ecosistemas. A su vez, el entendimiento de los sistemas naturales ha permitido mejorar los modelos existentes con un mejor apego a la realidad. Sin embargo, es importante recordar que el desarrollo de los modelos está íntimamente ligado a la formación de bases de datos, las cuales permiten validar las respuestas de los modelos. México es un país pobre en información; la escasez de bases de datos resulta ser el factor limitante en la implementación de modelos. Ante estas circunstancias existe la necesidad de que la comunidad científica concentre esfuerzos en la formación de redes de bases de datos los cuales estén disponibles para los investigadores.

El CENAPROS ha iniciado acciones en la formación de bancos de datos como parte de las acciones de redes de investigación en sistemas de labranza de conservación, meteorología, hidrología, erosión, así como de acciones participativas con instituciones involucradas en el desarrollo agropecuario. Esto bajo el entendido de que la riqueza de una organización moderna se puede definir por el grado de conocimientos adquiridos acerca del área de interés y, por lo general, toda se resume a la información capturada en bases de datos.

## INVESTIGACION BASICA Y APLICADA PARA LA TRANSFERENCIA DE TECNOLOGIA

El papel de la investigación agrícola-ambiental es generar conocimientos básicos sobre el sistema a manejar y aplicarlos en la optimización de todos los factores controlables que determinan un alto nivel de productividad con bases en la sostenibilidad, sin dañar el ecosistema. La investigación científica, de profundas raíces conceptuales y sobre todo de aplicabilidad, es necesaria para crear o adaptar nuevos métodos de manejo de sistemas de producción (agrícolas, pecuarios y forestales) en cualquier región climática del mundo, aun cuando sólo se requiera de una pequeña modificación en las relaciones del agua, suelo,

energía, y nutrimentos. El grado de ajuste en los componentes de la producción ha significado la diferencia entre la agricultura de subsistencia marginal y la agricultura de alta rentabilidad, pero en ambos casos la erosión de suelos, pérdida de fertilidad, contaminación y reducción de la biodiversidad han sido daños y amenazas constantes a los ecosistemas a raíz del enfoque productivista promovido durante los últimos 100 años para conseguir una "agricultura moderna".

El desarrollo agrícola en cualquier país, especialmente si depende de la eficacia con que se manejan sus recursos (agua, suelo, planta, infraestructura), requiere de investigación local. A pesar del gran volumen de conocimientos disponibles en la actualidad, la investigación debe ser apropiada y ajustada y, en realidad, revisada para evaluar que es lo pertinente y que es lo aplicable a las condiciones locales. La importación, a ciegas, de tecnología puede traer más perjuicios que beneficios (Hillel, 1993).

Por ejemplo, en México el uso intensivo de maquinaria agrícola de altos requerimientos energéticos ha traído un desperdicio significativo de insumos, además del efecto destructivo del ecosistema en las regiones no aptas para la agricultura, tal como sucede en las zonas áridas y semiáridas del norte del país donde los suelos son vulnerables a la compactación, y que aunado a la baja humedad del suelo durante la mayor parte del año no permite la descomposición de los residuos orgánicos para desarrollar una agricultura de labranza cero con fines de conservación del recurso.

La tecnología importada, aun cuando aplicable, requiere ser modificada y adaptada a las condiciones específicas de cada región, de tal forma que no toda la tecnología requerida puede ser importada, por lo general algo debe generarse localmente. Siguiendo con el ejemplo anterior en México, al igual que en la mayoría de los países latinoamericanos donde gran parte de la agricultura se realiza bajo condiciones de terreno accidentado por no disponer de grandes planicies, existe escasez de conocimientos sobre sistemas de labranza de conservación para terrenos de laderas (Lal, 1995). La importación de maquinaria para cero labranza no es factible, tomando en consideración que la mayor parte de la tecnología ha resultado de investigaciones provenientes de países desarrollados, principalmente de los Estados Unidos, donde predomina el clima templado y las unidades de

producción requieren de maquinaria de gran tamaño y potencia para el laboreo de grandes extensiones de terrenos planos.

El desarrollo de actividades de investigación básica y aplicada por los centros de investigación multidisciplinaria se justifica ampliamente con base en los problemas reales que están viviendo los sistemas agropecuarios y forestales del país, como son el incremento constante de aplicaciones de insecticidas en los cultivos intensivos, el deterioro de la fertilidad del suelo y el constante incremento en el suministro de fertilizantes más sofisticados y costosos, la dependencia a la importación de germoplasma impuesta por la susceptibilidad a organismos dañinos de los cultivos comerciales intensivos a raíz de la escasa variabilidad genética, y los altos costos de producción asociados con cualquier alternativa de solución orientada a mantener la unidad de producción a un nivel aceptable de productividad.

Respecto a la validación y transferencia de tecnología se tiene la convicción de que la investigación debe culminar con la implementación de nuevos sistemas y métodos de producción a través de evaluaciones bajo el ambiente en que ésta operará a nivel comercial. La transferencia de tecnología es la aceptación de los nuevos métodos y sistemas por parte de los productores con fines comerciales o de autoconsumo, mientras que la validación es la identificación de las desviaciones en la producción de los sistemas propuestos aplicados a nivel comercial en relación con los resultados de producción obtenidos en lotes experimentales.

La transferencia de tecnología debe darse de manera natural mediante la convicción del productor a mejorar la productividad de su sistema de producción a través de alternativas de producción. La selección de las alternativas le corresponde al productor y no al investigador, ya que cualquiera que sea la decisión del productor la aplicación de la alternativa seleccionada ayudará a resolver el problema. Es preferible optar por una estrategia de abajo hacia arriba (bottom-up) y no por una de arriba hacia abajo (top-down), como lo sugiere la FAO, ya que este último impone la tecnología al productor y ha sido la causa del fracaso de muchos programas de desarrollo rural en México.

Por lo descrito en los párrafos anteriores, resulta imprescindible que los esfuerzos de la investigación básica y aplicada para el desarrollo de métodos y sistemas sean consolidados mediante acciones de

validación y transferencia de tecnología. Las instituciones orientadas a solo efectuar actividades de transferencia de tecnología, sin considerar la fase previa de investigación, predisponen al país a un colapso tecnológico y económico, a corto o mediano plazo, por la importación de tecnología no probada, donde el directamente afectado es el productor al arriesgar su patrimonio. Ante esta situación es importante reconocer que no puede haber transferencia de tecnología si no existe tecnología disponible probada localmente. La ausencia de investigación es la descapitalización tecnológica de un país, por lo que a la par con la educación, la investigación es la mejor inversión que un país puede efectuar en pro de su futuro.

### La Sostenibilidad, un Proyecto Interinstitucional.

Las instituciones representan la organización para la producción, para la integración vertical y horizontal de los productores, para la comercialización de los productos, así como también todo el sistema de facilitadores potenciales representado por las instituciones de servicios, las que canalizan los incentivos y el cobro de cargas sociales.

En la elaboración de proyectos de investigación y de transferencia de tecnología se debe poner especial énfasis en buscar los medios que permitan al proyecto mismo ser sostenible. Un programa de desarrollo es sostenible cuando es capaz de rendir un nivel apropiado de beneficios durante un período prolongado después de que la asistencia financiera y gerencial por parte del donante exógeno ha terminado. La Agencia Internacional de Desarrollo (AID) menciona que las estadísticas sobre proyectos financiados indican que solamente uno de cada cuatro proyectos tiene posibilidades de ser sostenible y que el resto generalmente requieren de acciones concretas para corregir los aspectos que los hacen no sostenibles (USAID, 1988).

Ante esta problemática el INIFAP inició la investigación sobre producción sostenible precisamente mediante la venta del proyecto CENAPROS a las instituciones involucradas directa o indirectamente en el desarrollo rural del país. La aceptación del proyecto por la Fundación Mexicana para la Investigación Agropecuaria y Forestal, A.C. -la cual representa a más de 25 empresas de la iniciativa privada en los diferentes ramos agrícola, pecuario y forestal- no sólo

permitió el financiamiento del proyecto sino que justificó la autorización del nuevo Centro de Investigaciones en un momento difícil para el gobierno federal en 1995. Esto confirma que en la actualidad las ONGs, bajo una organización y constitución legal, son foros auténticos para expresar el sentir de la comunidad.

La participación de los gobiernos de los estados, organización de productores, fundaciones e instituciones nacionales e internacionales de desarrollo rural y de investigación científica es el enclave para el diseño, organización, conducción y financiamiento de proyectos de tono sostenible. Es triste reconocer, pero es una realidad, que las instituciones del gobierno pierden cada día su capacidad para dar continuidad a los proyectos de desarrollo, arriesgando con esto la sostenibilidad del proyecto mismo: constantes reducciones presupuestales para operar, cambios en las administraciones del gobierno, apatía de ciertas dependencias a involucrarse con el desarrollo de comunidades rurales, o simplemente el retiro del personal responsable del proyecto. Ante esta situación es necesario que el diseño de todo proyecto contemple una estrategia implícita que le permita al mismo sobrevivir ante cualquier eventualidad adversa.

Por último, es importante resaltar que la agricultura sostenible pone énfasis en la permanencia no sólo de la base física de recursos, sino también en un conjunto amplio de valores de la comunidad. El objetivo principal es el fortalecimiento o revitalización de la cultura rural y de las comunidades rurales, guiado por los valores de la administración (gestión) e independencia y enfoque integrado u holístico de las dimensiones físicas y culturales de la producción y el consumo (NRC, citado por De Camino y Müller, 1993). No es posible que ante la constante demanda de una mejor calidad de vida por todos los que habitamos el planeta tierra, continúe el divorcio entre las instituciones obligadas con el desarrollo rural del país, y que las actividades agropecuarias y forestales productivas se vean como entes separados en los ecosistemas. La investigación científica juega quizás el papel más importante en el contexto de sostenibilidad, debido a la urgencia de crear sistemas de producción compatibles con la naturaleza, satisfactorios para el ser humano y sobre todo perdurables para el beneficio de las futuras generaciones.

## LITERATURA CITADA

- Altieri, M. 1995. Agroecología: Creando Sinergias para una Agricultura Sostenible. Grupo Interamericano para el Desarrollo Sostenible de la Agricultura y los Recursos Naturales. Cuaderno de Trabajo No. 1.
- Anaya-Garduño, M. 1989. Global Assessment of Soil Degradation - Region IVD: México. Colegio de Postgraduados, Centro de Edafología, Montecillo, México.
- CENAPROS (Centro Nacional de Investigación para Producción Sostenible). 1995. Centro Nacional de Investigación para Producción Sostenible: Agrícola-Ganadera-Forestal, Secretaría de Agricultura, Ganadería y Desarrollo Rural, Instituto Nacional de Investigaciones Forestales y Agropecuaria, Fundación Mexicana para la Investigación Agropecuaria y Forestal, A.C., Gobierno del Estado de Michoacán, Fideicomisos Instituidos en Relación a la Agricultura.
- Cubillas Castro, B. 1986. Impacto de sustancias tóxicas. Estudio del caso de la Comarca Lagunera (mimeo). Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos, Subsecretaría de Infraestructura Hidráulica, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA), México.
- De Camino, R. y S. Müller, 1993. Sostenibilidad de la agricultura y los recursos naturales: bases para establecer los indicadores. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA), Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ) GmbH. Documento No. 38, Serie Documentos y Programas.
- FAO (Food and Agriculture Organization). 1991. Sustainable development and management of land and water resources. In: Conference on Agriculture and the Environment, held at 's-Hertogenbosch, The Netherlands. FAO, Rome, Doc. No. 1.
- Figueroa, B. y E. Ventura. 1990. Proyecto para el efecto de la labranza de conservación en la estructura del suelo y su relación con el crecimiento, desarrollo y rendimiento de cultivos. Documentos Técnicos de la Red de Cons. de Suelo y Agua. Salinas, S.L.P. México.
- Ffolliott, P. and K. Brooks. 1986. Multiple use: Achieving and increasing income within a watershed management framework. p. 115-123. In: FAO Conservation Guide 14.
- González, C. 1988. La SRA ha incidido en la destrucción de las selvas. p.5. In: La Jornada, 28 de abril de 1988.
- Hillel, D. 1993. Science and the crisis of the environment. Geoderma 60: 377-382. Elsevier Science Publishers B.V., Amsterdam.
- Lal, R. 1995. Biophysical factors in the choice of tillage systems for sloping lands. Tercera Reunión de la Red Latinoamericana de Labranza de Conservación. Turrialba, Costa Rica.
- Madden, J. P. 1989. What is alternative agriculture? American Journal of Alternative Agriculture 4: 32-34.
- McIntire, J. 1995. A review of soil conservation sector in Mexico. Chapt. 11, pp. 107-128. In: Economic and Institutional Analyses of Soil Conservation Projects in Central America and the Caribbean. Editors: E. Lutz, S.

- Pagiola, and C. Reiche. World Bank Environmental, Paper No. 8, The World Bank, Washington, D.C.
- Medellín, F. 1978. La desertificación, problema de alcance mundial. *In: La Desertificación en México*. Inst. de Invest. Zonas Desérticas, Universidad Autónoma de San Luis Potosí, S.L.P., Méx.
- NRC (National Research Council) 1989. Alternative Agriculture. Committee on the Role of Alternative Farming Methods in Modern Production Agriculture. Washington, D.C.
- Oyarzábal-Tamargo, F. 1978. International diseconomies: The Colorado River salinity problem in México. *In: Natural Resources Journal* 18: 7.
- USAID (United States Agency for International Development). 1988. Sustainability of Development Programs: A Compendium of Donor Experience. Washington, D.C., Discussion Paper No. 24.
- Tapia V., M., A. Ruiz C., A. Muñoz V., M. Tiscareño L., E. Venegas G., C. Sánchez B., R. Molina, y X. Chavez C. 1995. Areas potenciales para el cultivo de cucurbitáceas en el proyecto de riego de Chilátán de Tepalcatepec, Mich. *Terra* 13: 231-243.
- Tiscareño-Lopez, M., M. A. Weltz y V. L. Lopes. 1995. Assessing Uncertainties in WEPP's Soil Erosion Predictions on Rangelands. *Journal of Soil and Water Conservation* 50: 512-516.
- World Research Institute. 1994. A Guide to the Global Environment: People and the Environment. Oxford University Press, New York.

# INDICE DE AUTORES

483

## Authors Index

- Aguilar S., A. 151, 387  
Alcántar G., G. 349  
Alcántar R., J. J. 407  
Almaguer V. 371  
Almáraz S., J. J. 379  
Alvarado L., J. 124, 355  
Aveldaño S., R. 445
- Baherle P. 325  
Baray T., M. 417  
Barois I. 357, 387  
Bashan Y. 159, 195, 211  
Bernoux M. 1  
Boddey R. M. 101  
Bowen G. D. 27  
Burguete H., F. 431
- Carvalho D V., R. 431  
Casanova E. 59  
Castellanos R. J. Z. 151  
Cerri C.C. 1  
Claveran A., R. 469  
Cortés F., J. I. 313
- Danso S., K. A. 27  
De La Cruz M., H. 339
- Estrada B., A. M. 319  
Estrella Ch., N. 431  
Etchevers B., J. D. 151, 313
- Fedoroff, N. 357  
Fenn L., B. 279  
Ferrera C., R. 159, 195, 211, 379
- Garino, B. 84  
Godoy A., C. 293  
Gómez L., B.L. 407  
Graeme J., B. 1  
Graham A., H.A. 425
- Günberger, O. 129  
Gutiérrez C., M. A. 251  
Gutiérrez C., T. 319
- Hardarson, G. 13  
Hera, Ch. 40  
Hernde S., A. 13  
Herrera P., J. 241  
Holguin G. 159, 195, 211
- Janeau J., L. 129
- Kengni, L. 84
- Laird R.J. 431  
Larqué S., A. 251  
Laty, R. 84  
Lee R., V. 279  
León A., R. 395  
Libardi P., L. 76  
Luna P., M. E. 293
- Maldonado T., R. 313, 371  
Marques O., J. J. 151  
Méndez G., T. 137  
Miyamoto S. 265, 279  
Moreno D., R. 445
- Nikolski, Y. 301
- Ordaz Ch., V.M. 357, 387  
Ortega D., M.L. 379  
Ortiz S., C. A. 251
- Palacios M., S. 137  
Parada A., M. 325  
Peña C., J. J. 13  
Pérez M., J.L. 395  
Pérez Z., O. 229, 331  
Perry A., D. 257  
Pino, I. 59, 325
- Ramírez V., P. 379  
Recous, S. 84  
Reichardt, K. 76  
Reyes G., V. M. 129  
Rodríguez D., L. 137  
Rojo S., J. V. 417

Ruiz P., M. E. 241  
Ruiz V., J. 417, 425

Salas A.M. 59  
Salinas J. R. 151

Sánchez G., P. 349  
Sandoval V., M. 349  
Sanginga N. 27  
Saucedo C. 371  
Swietlik D. 279

Tapia V., L. M. 407  
Thony J. L. 84  
Tiscareño, L., M. 469

Trinidad S., A. 431  
Turrent F., A. 313, 445

Urquiaga, S. 101  
Utset S., A. 241

Vachaud, G. 84  
Van Cleemput, O. 40  
Velasco V., V. 417  
Velázquez M., A. 257  
Volke H., V. 431

Zapata, F. 27, 59, 325  
Zarate Z., R. 339

**REVISORES QUE COLABORARON CON LA REVISTA  
TERRA DURANTE 1996**

485

M.C. ANTONIO GPE. AGUILAR NOH, México  
DR. ANDRES AGUILAR SANTELISES, México  
DR. GABRIEL ALCANTAR GONZALEZ, México  
DR. GUSTAVO ALMAGUER VARGAS, México  
M.C. JORGE ALVARADO LOPEZ, México  
DRA. EDNA ALVAREZ SANCHEZ, México  
DR. MANUEL ANAYA GARDUÑO, México  
RAMÓN ARTEAGA RAMÍREZ, México  
M.C. ANTONIO BECERRA MORENO, México  
DR. ALBERTO ENRIQUE BECERRIL ROMAN, México  
DR. WINFRIED E.H. BLUM, Austria  
ROBERT MICHEL BODDEY, Brasil  
DR. ELMER BORNEMISZA, Costa Rica  
DR. LENOM J. CAJUSTE, México  
DR. JAVIER Z. CASTELLANOS RAMOS, México  
DRA. MARIA TERESA COLINAS LEON, México  
M.C. ALFREDO ECHEGARAY ALEMAN, México  
DR. JOSE I. CORTES FLORES, México  
M.C. HONORIO ESPINOZA ESPINOZA, México  
DR. JORGE D. ETCHEVERS BARRA, México  
DR. CARLOS FUENTES RUIZ, México  
M.C. DAVID GOMEZ DIAZ, México  
DR. DIEGO GONZALEZ EGUIARTE, México  
M.C. MARGARITA EUGENIA GUTIERREZ RUIZ, México  
DR. ALBERTO HERNANDEZ, Cuba  
DR. EDGARDO HERNANDEZ VAZQUEZ, México  
DRA. CLAUDIA HIDALGO MORENO, México  
DR. REGGIE J. LAIRD, México  
DR. ALFONSO LARQUE SAAVEDRA, México  
DR. VICENTE LEE RODRIGUEZ, México  
DR. ANGEL MARTINEZ GARZA, México  
DR. ROBERTO NUÑEZ ESCOBAR, México  
DR. VICTOR OLALDE PORTUGAL, México  
DR. VICTOR M. ORDAZ CHAPARRO, México  
M.C. MIGUEL ORTIZ OLGUIN, México  
M.C. CARLOS ORTIZ SOLORIO, México  
M.C. DAVID JESUS PALMA LOPEZ, México  
DR. SERGIO PALACIOS MAYORGA, México  
DR. ENRIQUE PALACIOS VELEZ, México  
DR. JUAN JOSE PEÑA CABRIALES, México  
DR. OCTAVIO PEREZ ZAMORA, México  
DR. PAUL QUANTIN, Francia  
M.C. EDMUNDO ROBLEDOS SANTOYO, México  
M.C. JOSE LUIS RONE PUELLO, México

M.C. LUIS MANUEL SERRANO COVARRUBIAS, México  
DRA. CHRISTINA SIEBE GRABACH, México  
M.C. IRENE SOMMER CERVANTES, México  
ING. FRANCISCO TAH IUIT, México  
DR. LEONARDO TIJERINA CHAVEZ, México  
DR. ANTONIO TURRENT FERNANDEZ, México  
DR. JAIME XAVIER UVALLE BUENO, México  
DR. HUGO ALEJO VELASCO MOLINA, México  
M.C. MIGUEL ANGEL VERGARA SANCHEZ, México  
M.C. IVAN VIDAL PARRA, México  
DR. RAFAEL VILLEGAS, Cuba  
DR. VICTOR VOLKE HALLER, México  
M.C. BENJAMIN ZAMUDIO, México  
DR. FELIPE ZAPATA, Austria  
DR. CLAUDE ZEBROWSKI, Ecuador

