

TERRA

Volumen 10

Julio-Diciembre de 1992

Número 2

TRABAJO INVITADO

Organo oficial de
divulgación de la
Sociedad Mexicana de
la Ciencia del Suelo, A.C.

INDICE

DIVISION I

- E**stadística y economía en la investigación y generación de tecnología agrícolas.
VICTOR VOLKE HALLER 127

- C**artografía campesina de tierras en Villa Hidalgo, Zacatecas y su comparación con la carta edafológica de INEGI.

J.F. MARTINEZ MONTOYA y
C.A. OSTIZ-SOLORIO 140

Los efectos de la estabilización de la estructura del suelo (ejemplo de dos suelos de México).

CLAUDIA OLESCHKO DIRECTOR M. ARIAS R. y R. FERNANDO SABBERA C. 151

Acumulación de metales pesados en un suelo regado con aguas residuales.

ROSELIO CARRILLO C. L.J. CAJUSTE y L. HERNANDEZ H. 166

DIVISION II

especies de manzano (*Malus pumila* Mill) a diferentes niveles de humedad en el suelo.

JESUS PILAR AMADO ALVAREZ 174

Defoliación postcosecha de ciruelo japonés (*Prunus salicina* Lindl. x *P. cerasifera* Ehrh) cv methley. II: Efecto sobre la brotación y fructificación.

ESCOBAR GUTIERREZ, A.J.,
TIRADO TORRES, J.L.,
ALCANTAR GONZALEZ G. y
RODRIGUEZ ALCAZAR J. 184

Limite de rendimiento para dividir las dos subpoblaciones de las normas DRIS, para nogal pecanero.

MA. DEL CONSUELO MEDINA M. y
ENRIQUE DE J. MEDINA M. 193

Inoculación de *Bradyrhizobium japonicum* en diferentes variedades de soya (*Glycine max* L.).

R.M. RAMIREZ GAMA,
G. MEZA F.,
G. HERNANDEZ S.,
G. TSUZUKI-REYES y
G. VALENCIA 201

1992 10°

1992 30°

1994 15°

ANIVERSARIO DE TERRA
ANIVERSARIO DE LA SOCIEDAD DE LA
CONGRESO INTERNACIONAL DE LA
CIENCIA DEL SUELO

EDITORIAL

COMISION EDITORA

DR. JORGE D. ETCHEVERS B., Editor
DR. ANDRES AGUILAR SANTELISES
M.C. ROBERTO QUINTERO LIZAOLA
SRA. CARELINA C. AALMERS DE AGUILAR

MESA DIRECTIVA 1990-1992

M.C. JORGE L. TOVAR SALINAS,
Presidente
DR. CARLOS HERNANDEZ YAÑEZ,
Vicepresidente
M.C. ROBERTO QUINTERO LIZAOLA,
Secretario General
ING. RUBEN RODRIGUEZ GOMEZ,
Tesorero
M.C. MARIO MONTES HELU,
Secretario Técnico
M.C. MIGUEL OLGUIN ORTIZ,
Secretario de Relaciones Públicas
M.C. ARMANDO LEGASPI GUZMAN,
Secretario de Eventos Nacionales e Internacionales
DR. FERNANDO FLORES LUI,
Vocal
M.C. LEON SALVADOR COVARRUBIAS GARCIA
Vocal

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

Volumen 10-2, julio-diciembre 1992.

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) 4-22-00, ext. 5237.

TRABAJO INVITADO

Estadística y economía en la investigación y
generación de tecnología agrícolas. VICTOR
VOLKE HALLER. 127

ARTICULOS CIENTIFICOS

División I: Diagnóstico Metodología y Evaluación
del Recurso Suelo

Cartografía campesina de tierras en Villa
Hidalgo, Zacatecas y su comparación con la carta
edafológica de INEGI. J.F. MARTINEZ
MONTROYA y C.A. ORTIZ-SOLORIO. 140

Los índices de la estabilidad de la estructura
del suelo (ejemplo de dos suelos de México).
KLAUDIA OLESCHKO, HECTOR M. ARIAS
R. y R. FERNANDO CABRERA C. 151

Acumulación de metales pesados en un suelo
regado con aguas residuales. ROGELIO
CARRILLO G., L.J. CAJUSTE y L.
HERNANDEZ H. 166

División II: Relación Suelo-Clima-Biota

Respuesta del manzano (*Malus pumila* Mill) a
diferentes niveles de humedad en el suelo. JESUS
PILAR AMADO ALVAREZ. 174

Defoliación postcosecha de ciruelo japonés
(*Prunus salicina* Lindl. x *P. cerasifera* Ehrh) cv
methley. II: Efecto sobre la brotación y
fructificación. A.J. ESCOBAR GUTIERREZ,
J.L. TIRADO TORRES, G. ALCANTAR
GONZALEZ y J. RODRIGUEZ ALCAZAR. 184

Límite de rendimiento para dividir las dos
subpoblaciones de las normas DRIS, para nogal
pecanero. MA. DEL CONSUELO MEDINA M. y
ENRIQUE DE J. MEDINA M. 193

Inoculación de *Bradyrhizobium japonicum* en
diferentes variedades de soya (*Glycine max* L.).
R.M. RAMIREZ GAMA, G. MEZA F., G.
HERNANDEZ S., G. TSUZUKI-REYES y G.
VALENCIA. 201

Eficiencia en el uso del agua en tres genotipos
de maíz bajo temporal. MIGUEL A. PERALES
DE LA CRUZ y ALFONSO SERNA PEREZ. 211

La fijación de N₂ en frijol en ambientes
restringidos de humedad. J.Z. CASTELLANOS
y J.J. PEÑA-CABRIALES. 220

Papel de la endomicorriza V-A en la
transferencia de exudados radicales entre frijol y
maíz sembrados en asociación bajo condiciones de
campo. R.A. GUZMAN-PLAZOLA, R.
FERRERA-CERRATO y G.J. BETHLEN-
FALVAY. 236

Relación entre la edofauna y el sistema de
reforestación en la zona tepetatesa "Mario Avila",
Chapingo, México. R.E. GARCIA-PEREZ, F.
RODRIGUEZ N. y E. BRIGIDA B.†. 249

División III: Aprovechamiento del Recurso Suelo

La ecuación universal de pérdidas de suelo en
la cuenca del río Texcoco. HECTOR MANUEL
ARIAS ROJO y BENJAMIN FIGUEROA
SANDOVAL. 257

Respuesta del maíz al encalado de suelos del
valle de Atlacomulco, México. JORGE ALVARADO
LOPEZ y LENOM J. CAJUSTE. 262

INVITATIONAL PAPER

Statistics and economics in agricultural research and technology generation. VICTOR VOLKE HALLER. 127

SCIENTIFIC ARTICLES

Division I: Diagnostic, Methodology and Evaluation of the Soil Resource

Peasant's land cartography in Villa Hidalgo, Zacatecas, and its comparison with INEGI's edaphologic chart. J.F. MARTINEZ MONTOYA and C.A. ORTIZ-SOLORIO. 140

Unified index of soil structure stability (example of two soils of Mexico). KLAUDIA OLESCHKO, HECTOR M. ARIAS R. and R. FERNANDO CABRERA C. 151

Accumulation of heavy metals in a soil irrigated with wastewater. ROGELIO CARRILLO G., L.J. CAJUSTE and L. HERNANDEZ H. 166

Division II: Soil-Climate-Biota Relationship

The answers from the apples (*Malus pumila* Mill) at different levels of humidity in the soil. JESUS PILAR AMADO ALVAREZ. 174

Post-harvest defoliation of Japanese plum trees (*Prunus salicina* Lindl x *P. cerasifera* Ehrh) cv methley. II: Effect on bud-formation and fruit-bearing. ESCOBAR GUTIERREZ, A.J., TIRADO TORRES, J.L., ALCANTAR GONZALEZ, G. and RODRIGUEZ ALCAZAR, J. 184

Limit of yield to divide the two subpopulations of the DRIS norms to pecan tree. MA. DEL CONSUELO MEDINA M. and ENRIQUE DE J. MEDINA M. 193

Inoculation of *Bradyrhizobium japonicum* in different soybean varieties (*Glycine max* L.). R.M. RAMIREZ GAMA, G. MEZA F., G. HERNANDEZ S., G. TSUZUKI-REYES and G. VALENCIA. 201

Water-use-efficiency in three maize genotypes under rainfed conditions. MIGUEL A. PERALES DE LA CRUZ and ALFONSO SERNA PEREZ. 211

Dinitrogen fixation by bean plants in moisture restrictive environments. J.Z. CASTELLANOS and J.J. PEÑA CABRIALES. 220

The role of V-A mycorrhizae in the transfer of root exudates between associated bean and corn plants under field conditions. R.A. GUZMAN-PLAZOLA, R. FERRERA-CERRATO and G.J. BETHLENFALVAY. 236

Relationships between edofauna and the patterns of reclamation in tepetate zone "Mario Avila", Chapingo, Mexico. R.E. GARCIA-PEREZ, F. RODRIGUEZ N. and E. BRIGIDA B.† 249

Division III: Use of the Soil Resource

The universal soil loss equation in the Texcoco watershed. HECTOR MANUEL ARIAS ROJO and BENJAMIN FIGUEROA SANDOVAL. 257

Response of corn to liming on Atlacomulco Valley soils, Mexico. JORGE ALVARADO LOPEZ and LENOM J. CAJUSTE. 262

EDITORIAL BOARD

DR. JORGE D. ETCHEVERS B., Editor
 DR. ANDRES AGUILAR SANTELEISES
 M.C. ROBERTO QUINTERO LIZAOLA
 SRA. CARELINA C. AALMERS DE AGUILAR

BOARD OF DIRECTORS 1990-1992

M.C. JORGE L. TOVAR SALINAS,
 President
 DR. CARLOS HERNANDEZ YAÑEZ,
 Vice-President
 M.C. ROBERTO QUINTERO LIZAOLA,
 General-Secretary
 ING. RUBEN RODRIGUEZ GOMEZ,
 Treasurer
 M.C. MARIO MONTES HELU,
 Technical Secretary
 M.C. MIGUEL OLGUIN ORTIZ,
 Secretary for Public Relations
 M.C. ARMANDO LEGASPI GUZMAN,
 Secretary for National and International Events
 DR. FERNANDO FLORES LUI,
 Member
 M.C. LEON SALVADOR COVARRUBIAS GARCIA,
 Member

"TERRA", Registration pending. Official publication of the Soil Science Society of Mexico.

Volume 10-2, July-December 1992.

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: 52-595-42200, ext. 5237.

EDITORIAL

Octubre 1992. Por primera vez en la historia de TERRA hemos cerrado e impreso un número de la revista con anticipación a la fecha calendario correspondiente a éste. Ello significa que hemos aprendido el oficio de hacer una revista que salga a tiempo y, además, que nos encontramos preparados para aumentar el número de revistas por volumen. Esta es una meta que nos propusimos hace años y esperamos cumplirla en 1994, con ocasión del XV Congreso Internacional de la Ciencia del Suelo. La cooperación al éxito de esta empresa depende mucho de ustedes. Hemos observado que sólo una cantidad mínima de trabajos que se presentan en los Congresos Nacionales, cristaliza como una publicación formal en TERRA.

La situación anterior es una señal de la necesidad de hacer un esfuerzo extra para cerrar el ciclo investigador-usuario. Los millones de pesos que el estado y el sector privado invierten en la investigación sectorial, no provocará el impacto deseado en la economía y el mejoramiento de la calidad de vida de los mexicanos, si no cautelamos que la información valiosa llegue al mayor número de usuarios potenciales. Prestar la debida atención a lo anterior es una obligación moral de los investigadores en Edafología. Satisfacer la inmensa demanda existente actualmente, con resultados que ya están generados en muchos casos, nos permitirá contribuir a competir mejor en una economía que se globaliza apresuradamente. Esperamos sus valiosos aportes para contribuir con la parte que nos corresponde al engrandecimiento del país.

El editor.

**SOCIEDAD MEXICANA DE LA CIENCIA DEL
SUELO A.C.**

DIVISIONES Y DISCIPLINAS

*División I: Diagnóstico, Metodología y Evaluación
del Recurso Suelo*

- a) Génesis, Morfología y Clasificación de Suelos.
- b) Física de Suelos.
- c) Química de Suelos.
- d) Contaminación.

División II: Relación Suelo-Clima-Biota

- a) Nutrición Vegetal.
- b) Relación Agua-Suelo-Planta-Atmósfera.
- c) Biología del Suelo.
- d) Tecnología y Uso de Fertilizantes.
- e) Uso y Manejo del Agua.

División III: Aprovechamiento del Recurso Suelo

- a) Conservación del Suelo.
- b) Drenaje y Recuperación.
- c) Fertilidad.
- d) Productividad de Agrosistemas.

División IV: Educación y Asistencia Técnica

- a) Educación.
- b) Crédito y Asistencia Técnica.

ESTADISTICA Y ECONOMIA EN LA INVESTIGACION Y GENERACION DE TECNOLOGIA AGRICOLAS

Statistics and Economics in Agricultural Research and Technology Generation

Victor Volke Haller

Centro de Edafología, Colegio de Postgraduados,
56230 Montecillo, Méx.

Palabras clave: Análisis de varianza, Análisis de regresión, Optimización económica.

Index words: Analysis of variance, Analysis of regression, Economic optimization.

conocimientos de estadística y economía para la investigación y generación de tecnología agrícolas, en términos generales en los temas de análisis de varianza, análisis de regresión y optimización económica, para posteriormente hacerlo de manera más detallada.

RESUMEN

Dentro del proceso de investigación y generación de tecnología agrícolas, la metodología estadística y económica normalmente constituyen un aspecto fundamental para analizar información y lograr conclusiones y/o recomendaciones correctas.

Después de décadas de desarrollo de la estadística y economía aplicadas, este es un tema que debería encontrarse ya superado, mas, aún es demasiado frecuente observar en la investigación y generación de tecnología agrícolas, la utilización de metodologías estadísticas y económicas inadecuadas y/o ineficientes, con las correspondientes consecuencias a que ello acarrea.

El presente trabajo se enmarca dentro de los objetivos de mejorar nuestros

SUMMARY

Within the process of agricultural research and technology generation, the statistics and economic methodology usually constitutes a fundamental aspect to analyze information and to achieve correct conclusions and/or recommendations.

After decades of development of the applied statistics and economics, this is a theme that would be already over, but it is yet very frequent to observe in the agricultural research and technology generation the use of inadequate and/or inefficient statistics and economics methodologies, with the consequences that it causes.

The present work is framed within the objectives of improving our knowledges about, in general, statistics and economics for the agricultural research and technology generation, in themes of analysis of variance, analysis of regression and economics optimization.

Recibido 6-92.

INTRODUCCION

Los aspectos estadísticos y económicos normalmente constituyen parte fundamental en la investigación y generación de tecnología agrícolas, de tal modo que en mayor a menor grado, el uso de ellos puede incidir directa o indirectamente sobre la obtención de información y el análisis de ella, y lograr conclusiones correctas y/o recomendaciones confiables.

Debido a su importancia, el tema de la estadística y economía en la investigación y generación de tecnología agrícolas ha recibido la preocupación constante de los investigadores, estadísticos y economistas desde hace varias décadas atrás, y a estas alturas debería encontrarse ya superado. Mas, aún es demasiado frecuente observar en la investigación y generación de tecnología agrícolas, la utilización de metodologías estadísticas y económicas inadecuadas y/o ineficientes, con las correspondientes consecuencias a que ello acarrea.

Si bien es cierto que una característica propia de la agricultura que ha propiciado esta situación es su gran diversidad, en relación a los factores en estudio (tipo, importancia, interacciones, etc.) y las condiciones de suelo, clima y manejo del cultivo, bajo las cuales se trabaja, no lo es menos el que, por un lado, entre los investigadores agrícolas existe bastante desconocimiento de la estadística y economía aplicadas, y por otro, los estadísticos y economistas, quienes son los que tienen el mayor conocimiento sobre el tema, normalmente no se encuentran suficientemente integrados al proceso de investigación y/o generación de tecnología agrícolas.

La interrogante que se plantea al respecto es: ¿cómo podemos superar ésta situación? La respuesta lógica a ella sería: con base en una adecuada integración entre los estadísticos y economistas, y los investigadores agrícolas. Sin embargo, esto es precisamente lo que no se ha dado en la práctica.

De esta manera, e independientemente de que esta integración continúe siendo un objetivo a alcanzar, otra vía para avanzar hacia la solución del problema, sería que los investigadores agrícolas mejoren sus conocimientos de estadística y economía aplicadas, tanto a nivel de la investigación y generación de tecnología agrícolas, como para lograr una mejor comunicación con los estadísticos y economistas acerca de conocimientos más avanzados.

Esta última vía no es un objetivo fácil de lograr, pues implica mejorar nuestra enseñanza profesional en estadística y economía aplicadas, tanto a nivel de licenciatura, maestría y doctorado, como de capacitación para investigadores.

El presente trabajo se enmarca dentro de esta vía, en términos de mejorar nuestros conocimientos de estadística y economía para la investigación y generación de tecnología agrícolas, y concretamente se refiere a plantear el problema en su ámbito general, para posteriormente, en otros artículos, hacerlo de manera más detallada.

Los aspectos estadísticos que más nos atañen son los de tipo metodológico, y en este sentido, aunque son diversos, se hará referencia a los de uso más frecuente en nuestro campo de actividades, y agrupados en los temas de:

- análisis de varianza,
- análisis de regresión, y,
- análisis de optimización económica.

ANALISIS DE VARIANZA

En términos generales, el análisis de varianza se ha usado, y se usa, en investigación y generación de tecnología agrícolas, para:

- determinar el o los mejores tratamientos en un experimento;

- probar la igualdad o diferencia entre tratamientos de interés;
- probar la existencia de interacciones entre los factores en estudio;
- probar la igualdad o diferencia para factores no experimentales, como sería en caso del análisis de series de experimentos en relación, por ejemplo, a localidades, años, etcétera;
- estimar la confiabilidad de un experimento, en cuanto a su coeficiente de variación y magnitud de la varianza del error; y,
- con fines de optimización económica, ya sea como análisis preliminar para ésta, o incluso, como un análisis final.

Algunas de las deficiencias más frecuentes que suelen observarse en el uso del análisis de varianza son:

- se analiza información de tipo continuo (respuesta a tres o más niveles de un factor), para la cual normalmente resulta más eficiente un análisis de tipo continuo, como el de regresión;
- se usa con fines de optimización económica: como análisis preliminares o finales en experimentos cuyos tratamientos difieren en sus costos, con los rendimientos u otra variable de interés, sin considerar directamente los ingresos netos como debería ser; y, con información de tipo continuo, lo cual se debería analizar mediante análisis de regresión; y,
- el análisis de varianza puede resultar un análisis inseguro, en cuanto a que indique que no existe efecto de tratamientos, y éste sí exista, y así lo muestre algún otro análisis, como el de regresión, por ejemplo.

Cuando se analiza información de tipo continuo (a tres o más niveles de un factor), ya sea para un factor, o para más de uno a través de un diseño de tratamientos, es frecuente observar que se haga un análisis de varianza, y si éste da significancia para tratamientos, se realiza la comparación de medias y se sacan las conclusiones correspondientes.

A este respecto, se debe señalar que para información de tipo continuo, el análisis que debemos realizar es uno de tipo continuo, como el de regresión, en términos de funciones de respuesta, y en realidad, el análisis de varianza resulta poco eficiente y hasta puede conducir a resultados e interpretaciones erróneas. En este caso, el análisis de varianza sólo cumpliría la finalidad de determinar el cuadrado medio del error para realizar una prueba de falta de ajuste del modelo en el análisis de regresión, lo que, si este se realiza adecuadamente, no resulta de relevancia, y no suele hacerse en la práctica.

Sin embargo, una excepción al uso del análisis de varianza puede darse cuando se tienen solo tres niveles de un factor, en que el análisis continuo mediante regresión puede no ofrecer mayores ventajas, además de que puede implicar problemas de modelo, ya que por tres puntos pueden pasar innumerables curvas de respuesta.

En términos de optimización económica, el análisis de varianza se usa como análisis preliminar para continuar o no con el análisis de optimización económica, en cuanto a que si no hay significancia para tratamientos, el tratamiento óptimo económico es el de menor costo, y si la hay, y existen tratamientos con mayores rendimientos que otros, se continúa con el análisis económico.

Esta manera de proceder puede resultar insegura y conducir a resultados incorrectos, como lo señala Volke (1990), tanto a nivel general, como a nivel particular del procedimiento de optimización gráfico-estadístico para la matriz de tratamientos Plan Puebla (Turrent, 1978).

En el primer caso, Volke (1990) presenta un ejemplo sobre un experimento de respuesta del maíz a dos herbicidas y cuatro niveles de cada uno de ellos, en el que el análisis de varianza indica que no existe diferencia estadística entre los tratamientos, y el análisis de regresión da un modelo que muestra respuesta a los niveles de los herbicidas y que estos difieren entre sí. De esta manera,

según el análisis de varianza, el tratamiento óptimo económico es el tratamiento testigo sin herbicida, y de acuerdo con el análisis de regresión, los óptimos económicos para ambos herbicidas son diferentes de cero.

En el caso del procedimiento gráfico-estadístico, que incluye al análisis de varianza como análisis preliminar, Volke (1990) presenta un ejemplo sobre un experimento de respuesta del maíz a los factores nitrógeno, fósforo y densidad de plantas, con una matriz de tratamientos Plan Puebla. En este experimento, los óptimos económicos obtenidos siguiendo el procedimiento, presentan diferencias no despreciables de los óptimos económicos obtenidos mediante el procedimiento estadístico-matemático, basado en análisis de regresión, el que, según las curvas de respuesta observadas, estaría dando los óptimos económicos correctos.

Por otra parte, el uso del análisis de varianza como análisis final en la optimización económica, resulta similar a lo ya mencionado, en cuanto a que, en un conjunto de tratamientos no diferentes estadísticamente, el óptimo económico será aquel de menor costo. Sin embargo, una complicación que se presenta al respecto resulta cuando dentro de un experimento existen grupos de tratamientos con niveles de rendimientos diferentes entre sí pero similares entre ellos, ya que si bien dentro de cada grupo se consideraría al tratamiento de menor costo como óptimo económico, en tal caso, la solución ya no resulta tan simple en sí, y requiere de un análisis de optimización económica formal, lo que haría innecesario al análisis de varianza con fines de optimización económica.

Sin embargo, cabe señalar que en la situación anterior estamos trabajando con los rendimientos. Una manera de subsanar el problema cuando los tratamientos difieren en sus costos, sería trabajar no con los rendimientos sino con los ingresos netos, y en tal caso, si podríamos usar el análisis de varianza con fines de optimización económica,

de tal manera que el tratamiento óptimo económico sería, de los tratamientos que den el mayor ingreso neto, aquel de menor costo.

Por otra parte, cuando los tratamientos de un experimento no difieran en sus costos, la situación es similar que con los ingresos netos, y podremos usar directamente el análisis de varianza con fines de optimización, y el tratamiento óptimo económico será el o los que den el mayor rendimiento.

Mas, en términos generales, otro problema que puede ocurrir con el análisis de varianza es que indique que no existe efecto de tratamientos, y este sí exista. A este respecto, Volke (1990) presenta dos ejemplos sobre experimentos en que el análisis de varianza indica la no existencia de significancia para tratamientos, esto es, que no existen diferencias entre tratamientos, y que el análisis de regresión dio un modelo significativo, esto es, que indica que hay efecto de los tratamientos.

Esta situación tiende a darse cuando, de un número dado de tratamientos en un experimento, mayor sea el número de tratamientos iguales, o al contrario, menor sea el número de tratamientos diferentes, así como también, cuando las diferencias entre los tratamientos no sean de gran magnitud. La causa estadística de esto, reside en los grados de libertad para los tratamientos que maneja el análisis de varianza en el caso de experimentos con un número reducido de tratamientos diferentes o un número alto de tratamientos iguales. Como lo señala Volke (1990), en un caso como este, los grados de libertad de tratamientos deberían corresponder al número de tratamientos diferentes dentro del experimento, es decir, si estos son solo unos pocos del total, los grados de libertad serán menores que el correspondiente al número de tratamientos menos uno, que maneja el análisis de varianza. De esta manera, para una misma suma de cuadrados de tratamientos estaremos obteniendo un cuadrado medio mayor, pues estaremos dividiendo la suma de cuadrados entre un número menor. Esto se traducirá en un

mayor valor de F calculado y, por consiguiente, una mayor probabilidad de significancia. Pero más aún, los grados de libertad que no se usan para los tratamientos pasan a formar parte de los grados de libertad del error, con lo que, también para una misma suma de cuadrados, se obtendrá un cuadrado medio de error menor, y entonces, estaremos incrementando aún más el valor de F calculado, y la probabilidad de significancia.

De esta manera, el análisis de varianza, no siempre resulta seguro para realizar comparaciones de tratamientos dentro de un experimento, y en general, el análisis que debería realizarse es el de regresión como lo señala Volke (1990).

ANALISIS DE REGRESION

En términos generales, el análisis de regresión puede considerarse la herramienta estadística de mayor valor en la investigación y generación de tecnología agrícolas, mas, el uso que hacemos de el es bastante limitado. La causa de esta situación reside fundamentalmente en que es un análisis que requiere mayores conocimientos de estadística, que los que usualmente tenemos los investigadores agrícolas.

Los aspectos principales en que podemos usar, o debemos usar, el análisis de regresión son:

- en el análisis de información de tipo discreto (tratamientos discretos uno o más factores, por ejemplo: fuentes de un nutrimento, oportunidades de fertilización, distintos tratamientos de control de malezas, variedades, etcétera); y,
- en la estimación de funciones de respuesta, tanto discretas (factores a dos niveles) como continuas (factores a tres o más niveles) y mixtas (discretas-continuas), con fines de estudiar la relación entre una variable de interés y diversos factores, y de optimización económica de factores tecnológicos.

El uso del análisis de regresión puede presentar algunas complicaciones en la práctica, que suelen dificultar su utilización, como:

- de modelo, en cuanto a las variables de un factor de tipo continuo que debe incluir este, según la forma de las respuestas, así como las interacciones entre factores, ya sean de tipo continuo o discreto;
- de multicolinealidad, por falta de independencia entre las variables independientes; y,
- de la técnica de regresión a utilizar.

El modelo constituye un aspecto fundamental para obtener resultados satisfactorios, pues si este no es el adecuado, no será posible obtener las funciones de respuesta satisfactorias, y de la misma manera, los óptimos económicos. Este es un aspecto que ha recibido menor atención de la que requiere, y alguna información reciente sobre el modelo la presenta Volke (1990) para el estudio de respuesta de los cultivos a los fertilizantes, y Rebolledo (1991) para la estimación de funciones de respuesta generalizadas.

La multicolinealidad es un tema que ha recibido bastante atención de parte de los estadísticos y economistas. Sin embargo, si bien hay avances importantes para controlar la multicolinealidad, existe poco estudio sobre lo que ello implica en términos de optimización económica, y esto es algo que debe conocerse.

Por otra parte, puesto que la multicolinealidad es más importante cuanto mayor es el número de variables en estudio, no resulta tan relevante su consideración en experimentos de respuesta con un número no elevado de variables, como suele ser en el caso de experimentos sobre factores de manejo en la agricultura, por lo cual no profundizaremos más en ella.

Sobre la técnica de regresión, la regresión a pasos (stepwise) se ha considerado por mucho tiempo la más adecuada, puesto que controla en algún grado la multicolinealidad. Sin

embargo, en la práctica presenta sus complicaciones, a tal extremo que puede resultar una técnica poco segura, según lo señala Volke (1981, 1990), quien se inclina para el caso del análisis de información experimental, por las técnicas de máximo incremento de R^2 , del programa SAS, o en su defecto, por la técnica de selección hacia atrás (backward).

Pero además, en la práctica hay otro aspecto relacionado con el análisis de regresión, y se refiere a la calidad de la información, en este caso experimental, para obtener la función de respuesta.

A este respecto, para estudiar dos o más factores en conjunto y a dos o más niveles cada uno de ellos, se usan diseños de tratamientos. Los diseños de tratamientos más simples son los factoriales. Sin embargo, cuando se estudian tres o más factores en conjunto y a tres o más niveles, resulta un número muy elevado de tratamientos, tal que no es posible manejarlo en la práctica, y con la finalidad de reducir este número de tratamientos, se han generado distintos diseños de tratamientos, con diferente número de tratamientos.

Entre estos diseños, cabe mencionar los siguientes: compuestos centrales (Box y Wilson, 1951), cubo doble (Tramel, 1957), San Cristobal (Rojas, 1962), cuadrado doble (CIMMYT, 1967), matrices Plan Puebla (Turrent y Laird, 1975). Estos diseños reducen notablemente el número de tratamientos en comparación con los diseños factoriales y, por lo mismo, difieren en sus limitaciones y ventajas estadísticas y prácticas. Sin embargo, una condición para su buen funcionamiento es que las medias de los tratamientos se encuentren bien estimadas.

A este respecto, usualmente hemos usado cuatro repeticiones en experimentos con maíz, trigo y cultivos similares, y seis en frijol, pero también se han usado tres y hasta dos repeticiones.

La experiencia y observación de cientos de experimentos sobre respuestas de tipo

continuo, realizados en países como México, Chile y Cuba, permiten ver que, a partir de la graficación de las curvas de respuesta a los factores estudiados, suelen existir experimentos buenos, regulares y deficientes, en términos de la distribución de los puntos y la graficación de estas curvas. Es decir, que bajo las condiciones en que solemos trabajar, no siempre logramos una buena estimación de las medias. Esto nos conduciría a plantear el uso de un mayor número de repeticiones, como lo sugieren algunos estadísticos, con base en el cálculo del número óptimo de repeticiones. Mas, debido a que esto daría lugar a aumentar el tamaño de los experimentos, no es una salida por la que hayamos optado.

La opción que algunos investigadores han seguido, ha sido la de basar el análisis de la información en la graficación de las curvas de respuesta a él o los factores en estudio, con la finalidad de observar la forma de la respuesta, y dentro de ésta, la presencia de puntos erráticos.

La detección de estos puntos erráticos, no es una tarea necesariamente sencilla, y en muchas ocasiones, resulta más aconsejable descartar la información. Desde luego, cuanto más niveles del factor se tengan en las curvas de respuesta, más sencilla puede resultar la detección. En ocasiones, estos puntos tienen su origen en que alguna de las repeticiones presenta valores muy bajos o muy elevados, en relación a las demás, sin tener conocimiento de la causa de ello, y se puede optar por eliminarla; en otras, pueden deberse a fallas en la densidad de plantas que se presentan durante el desarrollo del experimento, la que habría que considerar como un factor adicional en el análisis.

La graficación de curvas de respuesta requiere de algunas condiciones:

- cada factor debe tener cuatro o más niveles, y eventualmente tres, en el caso de factores que se puedan estudiar a sólo tres niveles;
- y,
- para el caso de estudiar dos o más factores en conjunto, se requiere de un diseño de

tratamientos que permita la graficación de las curvas de respuesta según lo señalado en el punto anterior.

A partir de estas condiciones, y considerando que para cuatro o más niveles de un factor y que los diseños factoriales presentan muchos tratamientos, los diseños de tratamientos que permiten la graficación de las curvas de respuesta son:

- para dos factores: el cuadrado doble, la matriz Plan Puebla modificada de 8 a 12 tratamientos, para obtener dos curvas de cuatro puntos (niveles) para cada factor, y el factorial 4×4 , o 4×3 en algunos casos; y,
- para tres factores: la matriz Plan Puebla modificada de 14 a 20 tratamientos, para obtener dos curvas de cuatro puntos (niveles) para cada factor.

Nótese que entre los diseños de tratamientos no estamos mencionando los compuestos centrales, cubo doble, San Cristóbal, Plan Puebla tradicional, precisamente porque, o no permiten una graficación o ésta no es suficientemente segura. Para el caso de la matriz Plan Puebla, Volke (1990) presenta mayor información al respecto.

Por otra parte, la graficación de las curvas de respuesta de cada factor permite especificar aproximadamente el modelo de regresión, cuando no lo hacemos con base en un modelo teórico. Esto es importante porque en muchas ocasiones hemos supuesto, sin mayor conocimiento real, que las respuestas son de tipo cuadrático. Al respecto, si bien esto tiende a ser cierto bajo condiciones no limitativas, suele tender a no serlo bajo condiciones limitativas.

Volke (1990) presenta un ejemplo sobre la estimación de funciones de respuesta en experimentos de respuesta del maíz al nitrógeno y fósforo, de diseño cuadrado doble, y al nitrógeno y densidad de plantas, de diseño factorial, con base en la graficación de las curvas de respuesta.

Por su parte, el uso del análisis de regresión para analizar información de tipo discreto es, en realidad, una sustitución del análisis de varianza que evita los problemas de ésta, en cuanto a que puede no dar significancia para los tratamientos cuando ella existe.

La manera de proceder con el análisis de regresión para información de tipo discreto es, usando variables auxiliares para las repeticiones y los tratamientos. De acuerdo con la teoría de la regresión, el número de variables auxiliares es igual al número de tratamientos que se comparan o de repeticiones, menos uno, y existen dos modalidades para definirlos. Ambas parten de un tratamiento base o repetición cualquiera, para el cual todas las variables auxiliares toman valor: 0 ó -1, para sus observaciones, siendo lo restante similar para las dos modalidades, esto es: la variable auxiliar correspondiente a un tratamiento o repetición toma valor 1 para sus observaciones y valor 0 para las observaciones de los demás tratamientos o repeticiones¹⁾.

Para los tratamientos, suele resultar más conveniente usar un tratamiento base con valor 0 para todas las variables auxiliares. Normalmente, este tratamiento es:

- para el caso en que los tratamientos tengan igual costo, o éste no intervenga en el análisis, un tratamiento testigo de comparación; y,
- para el caso en que los tratamientos difieran en sus costos, y éste intervenga en el análisis, el tratamiento de menor costo.

En realidad, de esta manera, vemos que este análisis está considerando también, dado el caso, la optimización económica.

1) Mayor información sobre el tema la presenta Volke (1990) en un experimento de respuesta de maíz a fertilización inorgánica y orgánica.

OPTIMIZACION ECONOMICA

La Optimización Económica en México.

Dentro del proceso de generación de tecnología agrícola, la optimización económica constituye una de las etapas fundamentales. Si bien desde el punto de vista teórico, la optimización es un tema resuelto, en la práctica, las diferentes condiciones de producción, en cuanto a la disponibilidad y restricción de recursos socioeconómicos y de riesgo climático y de mercado, ha dado lugar al uso de diferentes criterios económicos y procedimientos de optimización. A esto debemos añadir que, para el caso de los procedimientos de optimización, también está involucrado el tipo de factor, ya sea continuo o discreto.

Todo esto, para nuestros conocimientos más bien limitados de economía agrícola, ha originado bastante confusión en la generación de tecnología agrícola.

Tradicionalmente, el criterio económico de optimización más utilizado en la agricultura, ha sido el de maximización de utilidad por superficie, o de capital ilimitado en su otra denominación, aunque para condiciones limitativas de capital, también se han usado los criterios de capital limitado y de la tasa de retorno de capital total.

En el caso de México, poniendo especial énfasis en las restricciones de capital y de riesgo de la agricultura de pequeños productores, en la década de los setentas se comienza a utilizar, además del criterio de capital ilimitado, el de tasas de retorno del capital variable, en sus variantes de la tasa de retorno marginal (Perrin *et al.*, 1976; CIMMYT, 1988) y de la tasa de retorno de capital variable (Turrent, 1978), así como también el de capital ilimitado con la restricción de una tasa de retorno mínima (Luévanos *et al.*, 1977).

Los criterios económicos de capital ilimitado y de capital limitado con la restricción de una tasa de retorno mínima,

pueden utilizarse con los procedimientos de optimización discreta, gráfico y estadístico-matemático; en cambio, el criterio de tasas de retorno de capital variable, en sus dos variantes, se ha usado de manera discreta.

Las deficiencias más usuales que se observan en la optimización económica han sido:

- se ha usado el criterio de capital ilimitado para agricultura con restricciones de capital y de riesgo climático y de mercado; y,
- se ha usado el criterio de tasas de retorno del capital variable, en sus variantes de la tasa de retorno marginal y de la tasa de retorno del capital variable, con base en la maximización de la tasa de retorno.

El criterio económico del capital ilimitado supone que no existen restricciones de capital para invertir en insumos, y bajo esta situación, los óptimos económicos obtenidos son los máximos posibles de obtener económicamente, e implican la mayor inversión por superficie. Como es lógico suponer entonces, este criterio económico no resulta apropiado de usar para generar tecnología agrícola bajo condiciones de restricciones de capital por parte de los agricultores, como sería el caso de cuando deben trabajar con dinero propio. Por otra parte, en cuanto al riesgo, si bien en una primera etapa se puede utilizar el criterio de capital ilimitado, la generación de la tecnología debería considerar la distribución del factor causante de riesgo en el largo plazo, lo que normalmente no se ha realizado, sino en el mejor de los casos, sólo de manera aproximada.

El criterio económico de tasas de retorno del capital variable ha tenido gran aplicación en su variante de la tasa de retorno marginal (Perrin *et al.*, 1976; CIMMYT, 1988), tanto en México como en otros países en desarrollo de América Latina, Asia y Africa, a diferencia de su variante de la tasa de retorno del capital variable (Turrent, 1978), que ha tenido menor utilización, y casi exclusivamente en México.

La introducción de este criterio económico, tuvo por objetivo considerarlas restricciones de capital y de riesgo de los agricultores, en especial de los pequeños, de tal manera que los óptimos económicos que se obtienen son de menor magnitud que aquellos que se obtienen con el criterio económico de capital ilimitado, lo que está de acuerdo con dichas restricciones.

Sin embargo, este criterio en sus dos variantes ha sido utilizado inadecuadamente en cuanto a las tasas de retorno, y además, la variante de la tasa de retorno marginal presenta algunas limitaciones que lo hacen inseguro como criterio y procedimiento de optimización.

En relación a la tasa de retorno, la optimización se estuvo realizando con base en la maximización de la tasa de retorno. A este respecto cabe señalar que, para respuestas positivas de rendimientos marginales decrecientes, como son aquellas con las que solemos trabajar en la agricultura, ocurre que:

- para respuestas continuas, es la primera unidad de insumo, la que da la máxima tasa de retorno; y,
- para respuestas discretas, es el tratamiento con el nivel más cercano al tratamiento con el nivel más bajo de insumo, el que da la máxima tasa de retorno.

Si bien, al trabajar con dos o más insumos esta situación puede variar algo, debido a efectos aditivos y de interacciones, el resultado es que se obtienen óptimos económicos muy bajos y cercanos al tratamiento con el nivel más bajo de insumo.

No fue sino hasta 1988, con la nueva versión de la variante de la tasa de retorno marginal (CIMMYT, 1988), en que se hace la aclaración de que el tratamiento óptimo económico es aquel que presenta una tasa de retorno igual o similar a un valor preestablecido, de acuerdo al riesgo presente y al retorno del capital que resulte suficientemente atractivo para el agricultor.

De esta manera, los óptimos económicos obtenidos resultan más elevados, que aquellos correspondientes a la maximización de la tasa de retorno.

Mas, la variante de la tasa de retorno marginal tiene limitaciones que la hacen un procedimiento poco eficiente e inseguro en la optimización económica. En efecto, el procedimiento calcula las tasas de retorno de un tratamiento sobre otro de manera sucesiva, ordenados en forma creciente por sus costos variables, con base en los incrementos de los ingresos netos con respecto a los incrementos de los costos variables. De esta manera, es condición para que este procedimiento funcione correctamente que las medias de los tratamientos se encuentren bien estimadas, ya que de no ser así, darán incrementos de ingresos netos sub o sobreestimados, lo que dará lugar a tasas de retorno incorrectas. En la práctica, con el número limitado de repeticiones que solemos usar, no siempre obtenemos medias bien estimadas, y por tanto, puede resultar inseguro aplicar el procedimiento a nivel de un experimento individual. Con la finalidad de evitar este problema, se recomienda aplicar el procedimiento a un grupo de experimentos dentro de estrato ecológico y de manejo dados, ya sea un dominio de recomendaciones, un agrosistema, etcétera. Sin embargo, si bien con esto ganamos precisión, generalmente perdemos información acerca de la variación de los óptimos económicos dentro del estrato, la que no debemos ignorar en términos de su distribución en función de la variación de los factores dentro del estrato, como son los climáticos y algunos de suelo, como los contenidos nutrimentales, y de manejo.

Por último, también cabe señalar que el procedimiento es de tipo discreto, y como tal su uso debe restringirse a información de tipo discreto, ya que de tener información de tipo continuo resulta más eficiente su análisis mediante procedimientos de tipo continuo como el gráfico o el estadístico-matemático.

Otra deficiencia de la generación de tecnología agrícola en México, que tiene relación con la optimización económica, ha sido la no consideración del riesgo, tanto climático como de mercado, de una manera explícita, pues ello se ha realizado sólo en forma general.

Al respecto, cabe señalar que Laird y Rodríguez (1965) trabajaron con la incorporación del riesgo de sequía en la generación de recomendaciones de fertilizantes para maíz de temporal en la zona de El Bajío, a principios de la década de los sesentas. Posteriormente, aunque a mediados de la década de los setentas se realizaron algunos trabajos sobre el riesgo de sequía en el estado de Oaxaca (Laird, 1976; Ruiz, 1978), no fue sino hasta mediados de la década de los ochentas en que se comenzó a retomar el tema de la incorporación de los factores climáticos y del riesgo que causan en la generación de tecnología agrícola, y más específicamente de recomendaciones de fertilizantes, con los trabajos de Mendoza *et al.* (1985), Esparza *et al.* (1986) y Volke (1986), lo que se ha continuado con los trabajos de Volke (1988), Rebollo (1991) y Volke y García (1991).

Sin entrar en mayores detalles, el problema del riesgo en la generación de tecnología agrícola fundamentalmente reside en que la información de respuesta del cultivo a los factores tecnológicos normalmente se colecta en unos pocos años, los que no son necesariamente representativos de la distribución climática en el largo plazo, con lo cual las recomendaciones medias obtenidas pueden ser incorrectas. Un ejemplo sobre esto, lo presenta Volke (1990) para el caso de las recomendaciones de nitrógeno para maíz de temporal en agrosistemas de la región Mixteca de Cárdenas, Oaxaca.

Mediante el criterio económico de tasas de retorno del capital variable, con las variantes de la tasa de retorno marginal (CIMMYT, 1988) y de la tasa de retorno del capital variable (Turrent, 1978), se pretendió incorporar el riesgo en la generación de tecnología agrícola. Sin embargo, como se

señaló inicialmente, estas variantes se usaron inadecuadamente, y después se ha visto que tienen limitaciones importantes en su utilización.

Aunque más adelante, volveremos a tocar el tema del riesgo en la generación de tecnología agrícola, en realidad deberá ser tratado con más detalle en otra oportunidad.

Una Optimización Económica Eficiente.

A partir de las bases teóricas de optimización económica y de la experiencia desarrollada en México en las últimas décadas, en la actualidad se tiene el conocimiento suficiente para realizar una optimización económica eficiente, para fines de generación de tecnología agrícola. Desde luego, por limitaciones de espacio, aquí se tocará el tema de una manera general en sus aspectos más relevantes.

La optimización económica con fines de generación de tecnología agrícola, requiere definir las condiciones bajo y para las cuales se realizará, en cuanto a:

- la disponibilidad de capital;
- la presencia de riesgo, tanto climático como de mercado;
- la existencia de factores tecnológicos y socioeconómicos que directa o indirectamente pueden estar limitando los rendimientos, y que no sean controlables en un momento dado; y,
- el tipo de factor tecnológico para el cual se está optimizando, ya sea discreto o continuo.

En estos términos, a continuación se presentan algunos lineamientos generales sobre optimización económica para las condiciones más frecuentes en la agricultura.

Agricultura con disponibilidad de capital y sin restricciones de riesgo. Para una agricultura con una disponibilidad adecuada de capital y sin restricciones de riesgo, ya sea que este fuere despreciable o se disponga de

un seguro agrícola eficiente, el criterio económico a utilizar es el de capital ilimitado.

Agricultura con disponibilidad de capital y con restricciones de riesgo. Cuando se tiene una disponibilidad adecuada de capital pero se trabaja con riesgo, se puede usar el criterio económico de capital ilimitado, pero incorporando el riesgo en la generación de la tecnología a través de la distribución de probabilidades del factor causante de riesgo, en el largo plazo (Volke, 1988).

Agricultura con restricciones de capital y sin restricciones de riesgo. Bajo esta condición, el criterio económico a utilizar es el de capital limitado (Volke, 1982).

Agricultura con restricciones de capital y con restricciones de riesgo. Para estas condiciones, se dispone al menos de dos opciones:

- usar el criterio de capital limitado, bajo el supuesto de que el monto de capital a usar será el que el agricultor disponga y acepte usar de acuerdo al riesgo presente; y,
- usar el criterio de capital ilimitado con la restricción de una tasa de retorno mínima, establecida de acuerdo con el riesgo presente (CIMMYT, 1988; Volke, 1990), considerando además el riesgo a través de la distribución de probabilidades del factor causante de riesgo, en el largo plazo; más, la tecnología generada no podrá tener un costo mayor que el monto del capital disponible por el agricultor.

Agricultura con presencia de un factor de manejo que limite los rendimientos. En la agricultura se puede tener la presencia de algún factor, ya sea tecnológico o socioeconómico, que directa o indirectamente puede estar limitando los rendimientos en su momento dado, como, por ejemplo: una escasa mecanización, en cuanto a una deficiente preparación del suelo, una fecha de siembra tardía, etcétera; una fecha de siembra tardía por condiciones climáticas; un deficiente

control temprano de malezas; una falla de plantas por fenómenos climáticos; un patrón de adopción de tecnología de tipo gradual, en que al menos inicialmente no se adopta un paquete tecnológico completo en relación al número de componentes y la intensidad de ellos; etcétera. Bajo esta situación, la tecnología a generar y recomendar estará condicionada y limitada por el o los componentes tecnológicos que se estén utilizando en un menor nivel de intensidad, y en tal caso, lo que correspondería hacer es optimizar con base en un rendimiento esperado, mismo que se deberá estimar, y el criterio económico a utilizar será el de minimización de los costos para un nivel de rendimientos dado, igual a dicho rendimiento esperado.

Por otra parte, en cuanto al tipo de factor tecnológico, esto es, discreto o continuo, ya se mencionó que existen procedimientos discretos o continuos, y que para los factores de tipo discreto deberá usarse el procedimiento discreto y para los factores de tipo continuo deberán usarse los procedimientos discretos, ya sea el gráfico o el estadístico-matemático (Volke, 1990). Sin embargo, también se debe señalar que, en la práctica, los criterios económicos pueden presentar restricciones en cuanto a los procedimientos. Así: los criterios económicos de capital ilimitado y de capital ilimitado con la restricción de una tasa de retorno mínima permiten el uso de los procedimientos discreto y continuos; los criterios económicos de capital limitado y de minimización de los costos para un nivel de rendimientos dado, permiten el uso de los procedimientos discreto y continuo estadístico-matemático; y, en cambio, excepto para el caso de un factor, para dos o más factores en conjunto normalmente no es factible usar el procedimiento gráfico (Volke, 1982, 1990).

LITERATURA CITADA

- BOX, G.E.P. y K.B. WILSON. 1951. On the experimental attainment of optimum conditions. Jour. Roy. Stat. Soc. Series B. 13:1-45.

CENTRO INTERNACIONAL DE MEJORAMIENTO DE MAIZ Y TRIGO (CIMMYT). 1967. Informe 1966-67. CIMMYT, México, D.F., México.

CENTRO INTERNACIONAL DE MEJORAMIENTO DE MAIZ Y TRIGO (CIMMYT). 1988. From agronomic data to farmer recommendations: an economic training manual. Completely revised edition. CIMMYT, México, D.F., México.

ESPARZA S., R., R.J. LAIRD, L. LANDOIS P. y C. RAMIREZ A. 1986. Generación de tecnología de producción para el cultivo del maíz bajo condiciones de temporal en la parte este de la Mixteca Alta Oaxaqueña. *Agrociencia* (México) Núm. 64: 7-21.

LAIRD, R.J. 1976. Probabilidades de sequía en el maíz para los Valles Centrales de Oaxaca. Rama de Suelos, Colegio de Postgraduados, Chapingo, Méx., México.

LAIRD, R.J. y J. RODRIGUEZ G. 1965. Fertilización de maíz de temporal en regiones de Guanajuato, Michoacán y Jalisco. Folleto Técnico Núm. 50, Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas, Secretaria de Agricultura y Ganadería, México, D.F. México.

LUEVANOS A., A., J.V. ROJO S. y J. CONTRERAS S. 1977. Informe de investigaciones sobre las prácticas de producción del maíz de temporal, ciclo 1976. Centro de Investigaciones Agrícolas del Sureste, Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas, Oaxaca, Oax., México.

MENDOZA R., J., R.J. LAIRD, A. TURRENT F. y A. TRINIDAD S. 1985. Generación de recomendaciones sobre fertilización en maíz de temporal en la región centro-sur de Morelos. *Agrociencia* Núm. 60:75-86.

PERRIN, R.K., D.L. WINKELMAN, E.R. MOSCARDI y J.R. ANDERSON. 1976. Formulación de recomendaciones a partir de datos agronómicos. Un manual metodológico de evaluación económica. Folleto Núm. 27. CIMMYT, El Batán, Méx., México.

REBOLLEDO R., H. 1991. Metodología para estimar funciones generalizadas de producción, con fines de generar recomendaciones, considerando factores de suelo, clima y manejo, y el riesgo climático. Tesis de Doctor en Ciencias. Colegio de Postgraduados, Montecillo, Méx., México.

ROJAS, B.A. 1962. The San Cristobal design for fertilizer experiments. *Proc. of the ISSCT* 11:197-203.

RUIZ V., J. 1978. Obtención de un factor de ponderación para distintas intensidades de sequía y un índice de sequía ponderado. Documento presentado en el XI Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo, Villahermosa, Tab., México.

TRAMEL, T.E. 1957. A suggested procedure for agronomic-economic fertilizer experiments. In E.L. Baum, E.O. Heady, J.T. Pesek and G. Clifford (eds.). *Economic and technical analysis of fertilizer innovations and resource use*. pp.168-175. Iowa State University Press, Ames, Iowa, USA.

TURRENT F., A. 1978. El método gráfico-estadístico para la interpretación económica de experimentos conducidos con la matriz Plan Puebla I. Rama de Suelos, Colegio de Postgraduados, Chapingo, Méx., México.

TURRENT F., A. y R.J. LAIRD. 1975. La matriz experimental Plan Puebla, para ensayos sobre prácticas de producción de cultivos. *Agrociencia* (México) Núm. 19:117-143.

VOLKE H., V. 1981. Estimación de funciones de producción mediante regresión en experimentos con fertilizantes y densidad de plantas, con fines de determinación de óptimos económicos. Centro de Edafología, Colegio de Postgraduados, Chapingo, Méx., México.

VOLKE H., V. 1982. Optimización de insumos en la agricultura. Centro de Edafología, Colegio de Postgraduados, Chapingo, Méx., México.

VOLKE H., V. 1986. Generación de tecnología bajo riesgo para agricultura de subsistencia. Centro de Edafología, Colegio de Postgraduados, Chapingo, Méx., México.

VOLKE H., V. 1988. Generación de tecnología agrícola bajo condiciones de riesgo. Serie Cuadernos de Edafología 12. Centro de Edafología, Colegio de Postgraduados, Montecillo, Méx., México.

VOLKE H., V. 1990. Metodología estadística y económica para la generación de tecnología en la agricultura. Serie Cuadernos de Edafología 16. Centro de Edafología, Colegio de Postgraduados, Montecillo, Méx., México.

VOLKE H., V. y A. García M. 1991. Fertilización de cultivos en la agricultura de riesgo climático. *In*: FERTIMEX, SMCS y ADIFAL (eds.). Memorias del Simposio "Uso Racional de los Fertilizantes en América Latina". Querétaro, Qro., México.

CARTOGRAFIA CAMPESINA DE TIERRAS EN VILLA HIDALGO, ZACATECAS Y SU COMPARACION CON LA CARTA EDAFOLOGICA DE INEGI

Peasant's Land Cartography in Villa Hidalgo, Zacatecas, and its Comparison with INEGI's Edaphologic Chart

J.F. Martínez Montoya¹⁾ y C.A. Ortiz-Solorio²⁾

CREZAS-CP, Salinas de Hgo., San Luis Potosí,¹⁾

Centro de Edafología, Colegio de Postgraduados,²⁾
56230 Montecillo, Méx.

Palabras clave: Levantamiento de suelos, Clasificación de suelos, cartografía, Etnopedología.

Index words: Soil survey, Soil classification, Cartography, Etnopedology.

RESUMEN

En el presente trabajo se compararon los resultados obtenidos con la cartografía campesina de tierras (CCT) y los obtenidos en la carta edafológica de INEGI (1985), para saber cual proceso es más preciso, da más información, es más barato y rápido. La CCT se obtuvo siguiendo el método generado por Ortiz *et al.*, 1989. La comparación de mapas se hizo con datos de 30 unidades de muestreo, 25 ha c/u, seleccionadas al azar. En cada unidad se cuentan los tipos de tierra y con estos datos se obtienen la media, varianza y precisión. El tiempo y costo se calcularon de acuerdo a Bie y Beckett, 1971.

Los productores del ejido Villa Hidalgo identifican cinco clases de tierra: colorada, canelona, parduzca, parda y chautosa. Al

comparar los mapas se encontró una alta variabilidad (84%) en la CCT y baja (30%) en la carta de INEGI; además por unidad de muestreo se tienen 2.3 tipos de tierra campesinas y sólo 1.3 tipos de suelo en la carta de INEGI; asimismo, por cada clase de tierra campesina hay 0.58 clases de suelo de INEGI. La CCT fue 56% más barata y 53% más rápida que el Levantamiento Detallado de Suelos, aún sin incluir, en éste último, el tiempo para: laboratorio, consulta, dibujante y editores. Con base en lo anterior se concluye que los mapas generados con el método de la clasificación campesina son: más precisas, captan más detalles de los suelos, más baratos y más rápidos que los mapas obtenidos por el levantamiento de suelos.

SUMMARY

In this study we compared peasant cartography with the INEGI (Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática) soil chart, to know which of these systems is less expensive, faster, more precise and gives more information. Following the methodology proposed by Ortiz *et al.*, 1989 the peasant land classification was obtained. Comparison between maps was made for 30 randomly selected sampling units of 25 ha each.

Recibido 8-90.

Land types were identified for each sampling unit and with this information, we obtained mean, variance and precision values. Time and costs were calculated following Bie and Beckett, 1971 methodology.

In general Villa Hidalgo's peasants identified five land classes: "colorada", "parduzca", "parda", "canelona" and "chautosa". Comparing the maps we found the variability was high (84%) with the peasant classification and low (30%) with the INEGI chart; furthermore, there are 2.3 peasant land types compared with only 1.3 soil classes of the INEGI chart; likewise, for each peasant land type there are 0.58 INEGI's soil classes. The peasant classification was cheaper (56%) and faster (53%) than the Soil Detailed Surveying; even without including, for the latest, the time involved in: laboratory, consulting, draftsmanship and editory. For this reason it was concluded that the maps, generated with the peasant classification method, are cheaper, faster, more precise and capture more soil information than the maps obtained with traditional soil surveying.

INTRODUCCION

La realización de los levantamientos detallados de suelos, con la finalidad de relacionar las actividades agropecuarias con el recurso suelo, implica el uso de muchos recursos humanos, económicos, tiempo e infraestructura adecuada. Las características anteriores y la agricultura dominante (temporal) no permiten llevar a cabo estudios de esta índole en todas las áreas agrícolas del país. Como una alternativa, se han desarrollado métodos de cartografía de tierras, basados en los conocimientos empíricos de los campesinos (González, 1988; Luna 1980) o indígenas (Barrera, 1983; Pérez, 1984; Quiroz, 1983). Estos procedimientos se caracterizan por realizar las cartografías de suelos con base en entrevistas con los productores, a partir de las cuales se generan mapas que contienen información igual o más útil que los levantamientos realizados por los técnicos; además, no requieren de trabajos de

laboratorio, ni comprobación de linderos, con lo que se ahorran recursos humanos y económicos. Como objetivo del presente trabajo se planteó realizar una cartografía campesina de tierras y compararla (cartográficamente y en tiempo y costo) con el levantamiento de suelos realizado por DETENAL hoy INEGI.

REVISION DE LITERATURA

El conocimiento campesino o indígena sobre los suelos data de épocas prehispánicas, así tenemos que los aztecas (De Sahagún, 1982), purépechas (Barrera, 1983), otomíes (Quiroz, 1983) y mayas (Pérez, 1984), tenían un conocimiento claro sobre la calidad de las propiedades de la tierra; su número, ubicación, y las identificaban con registros pictóricos; además, llegaron a clasificarlas tomando como base las características físicas tales como su consistencia, textura, pedregosidad, entre otros (González, 1988).

Los conocimientos empíricos, que poseen los productores, sobre diversos aspectos y características de los suelos, están en estrecha relación con sus actividades agrícolas y en ellos se basan para asignar los cultivos, fechas de siembra, tecnología, etc. Los Chinantecos de Ojitlán, Oaxaca, distinguen siete unidades básicas ambientales, cada una posee diferentes aptitudes: Huo Them (tierra húmeda) son tierras de aluvión a lo largo de los ríos, adecuados para dos cultivos al año; Huo Cuauh (tierra dura) son tierras bien drenadas en las planicies, utilizadas para cultivos de temporadas de lluvia; Huo Yin (tierra roja) son tierras lateríticas encontradas en terrenos altos, usados para pasturas, maíz de verano y patios llenos de paja, etc. (Lucero y Dávila, citados por León 1984). Lo mismo sucede con los Aztecas, quienes denominan las tierras como: "Atoctli", tierra fértil que el agua ha traído y la caracterizaban como blanda, suelta, suave y hueca donde "se hace mucho maíz", "Quautlalli", tierra fértil que está estercolada con maderas podridas y se caracteriza por ser suelta, amarilla y hueca;

se "hace mucho maíz o trigo"; Xalatoctli", tierra fértil, arenosa que el agua trae de las partes altas, es tierra suave de labrar; etc. (De Sahagún, 1982).

La cartografía campesina de los suelos se obtiene al manejar la información proporcionada por los productores con más experiencia, de tal modo que a partir de estas clasificaciones, el calificativo "tierra negra" significa más de lo que la mayoría de la gente puede entender. Su aparente simplicidad es probablemente debido a nuestra falta de conocimientos sobre su concepción de la agricultura, además de que es un campo inexplorado (Williams y Ortiz, 1981).

Estos sistemas tradicionales de clasificación de tierras no sólo son comparables a los sistemas taxonómicos modernos desarrollados por los técnicos, sino que en muchos casos llegan a superarlos, por la fineza de sus discriminaciones y a la importancia que éstos le dan para la producción (Toledo *et al.*, 1985).

Williams y Ortiz, 1981, mencionan que la clasificación campesina, en comparación con la clasificación científica, refleja en forma más precisa las diferencias locales especiales de la superficie de los suelos. Más aún la clasificación campesina es aplicada a nivel de parcela o fracciones de parcelas, pues se reconocen varios taxa en una hectárea. Pérez (1984) reporta nueve unidades cartográficas, de INEGI solo tres; González (1988) informa que en cuatro ejidos del municipio de Iguala, Guerrero, se identifican once clases de tierras, en cambio solo se tienen seis clases de suelos con el sistema FAO/UNESCO (Cuadro 1).

Además de la caracterización campesina de tierra, existe una interacción con el ambiente; de tal forma que el concepto resulta más integral (Ortiz *et al.*, 1989). Al realizar comparaciones entre los taxa campesinos de suelos con los taxa científicos

Cuadro 1. Comparación de la clasificación campesina e indígena con los levantamientos detallados de suelos.

	FAO/UNESCO (Subunidad)
a) Purépecha	
Echeri-Tupuri	Andosol
Echeri-Tupuri-Turipiti	Andosol húmico
Echeri-Tupuri-Tsipambiti	Andosol ócrico
Echeri-Charanda	Luvisol órtico
Echeri-Charanda-Charapiti	Luvisol crómico
Echeri-Kerekua-Charapiti	Luvisol vértico
Echeri-Charanda-Charapiti-Tzumpambiti	Acrisol órtico
Echeri-Tupuri-Terenda	Feosem háptico
Echeri-Kerekua	Vertisol
Echeri-Kerekua-Turipiti	Vertisol pélico
Echeri-Kerekua-Charipiti	Vertisol crómico
Echeri-Zacapu o Echeri-Charaki	Litosol
Echeri-Tuperi	Regosol
Echeri-Tuperi-Urapiti	Regosol eútrico
Echeri-Atsimu	Gleysol
Echeri-Atsimu-Turipiti	Gleysol-mólico
b) Campesina	
Barro pesado	Vertisol pélico
Barro ligero	Vertisol pélico
Barro calichudo	Vertisol pélico
Barro negro	Vertisol pélico
Mezclados	Vertisol pélico
Amarilla	Vertisol crómico
Atocles	Fluvisol eútrico
Lamas	Fluvisol calcárico
Lomas	Regosol calcárico
Teshal	Regosol calcárico
Maciza	Cambisol calcárico

a) Barrera, 1983; b) González, 1988.

Williams y Ortiz (1981), encontraron que no existe una correspondencia uno a uno y que hay una mayor diferenciación campesina que en los taxa científicos (lo cual se aprecia en el Cuadro 1 con un ejemplo de clasificación purépecha y otra campesina) concluyeron que la poca correspondencia entre los dos tipos de taxa se debe a que las clasificaciones científicas se fundamentan sobre entidades taxonómicas de carácter tridimensional mientras que el hombre de campo conceptualiza al suelo en forma bidimensional (una área).

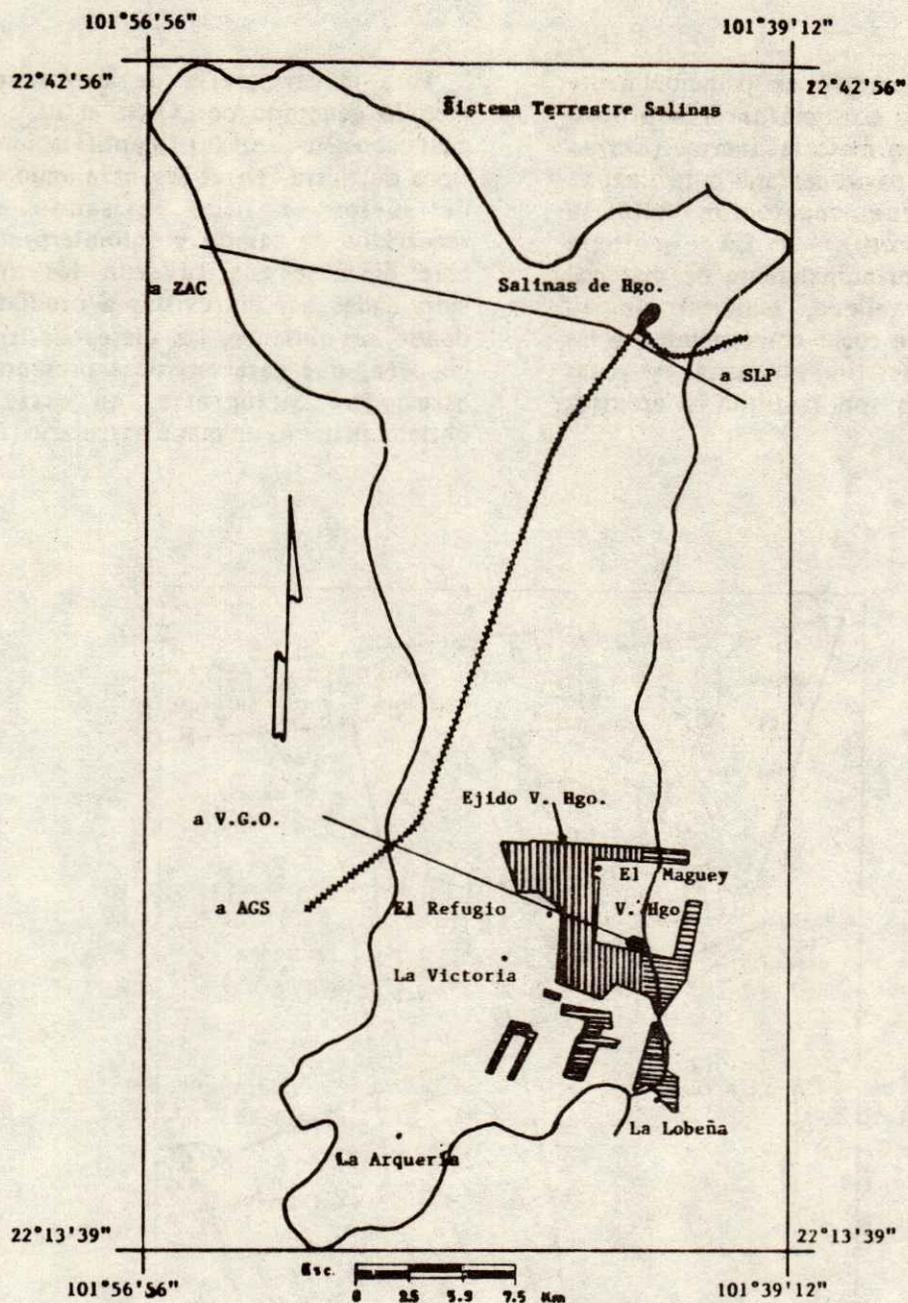


Figura 1. Localización del Ejido Villa Hidalgo, Mpio. de Villa Hidalgo, Zac. (Flores, 1985).

MATERIALES Y METODOS

El presente estudio se realizó durante la primavera de 1989 en el área de riego del ejido Villa Hidalgo, Mpio. de Villa Hidalgo,

Zac., ubicado en el Sistema Terrestre Salinas (Flores 1985) (Figura 1). Tiene una altitud promedio de 224 m; clima seco estepario, (García, 1983), con temperatura promedio anual de 18.7°C y una precipitación media anual de

328 mm. La vegetación es principalmente nopalera asociada con matorral espinoso (*Prosopis*, sp.) o con matorral inerme (*Larrea tridentata*) y en la parte cercana a la Laguna El Salitre se tiene vegetación halófila (*Distinchlis spicata*). La geología superficial consta principalmente de material depositacional de relleno, material aluvial; los afloramientos de rocas corresponden a las extrusivas ácidas (riolita, andesita) y rocas sedimentarias como son la lutita y arenisca (INEGI, 1985).

Para la cartografía de tierras se usó el método generado por Ortiz *et al.* (1989), el cual consiste en: (a) identificación de los tipos de tierra, en el levantamiento detallado de suelos se hace revisando estudios, recorridos de campo y fotointerpretando; en este caso se sustituyeron las anteriores actividades por entrevistas a productores, de donde se obtienen las clases de tierra que conocen, qué características presentan, entre otras; (b) cartografía, en esta fase se obtiene primero un mapa parcelario (Figura 2),

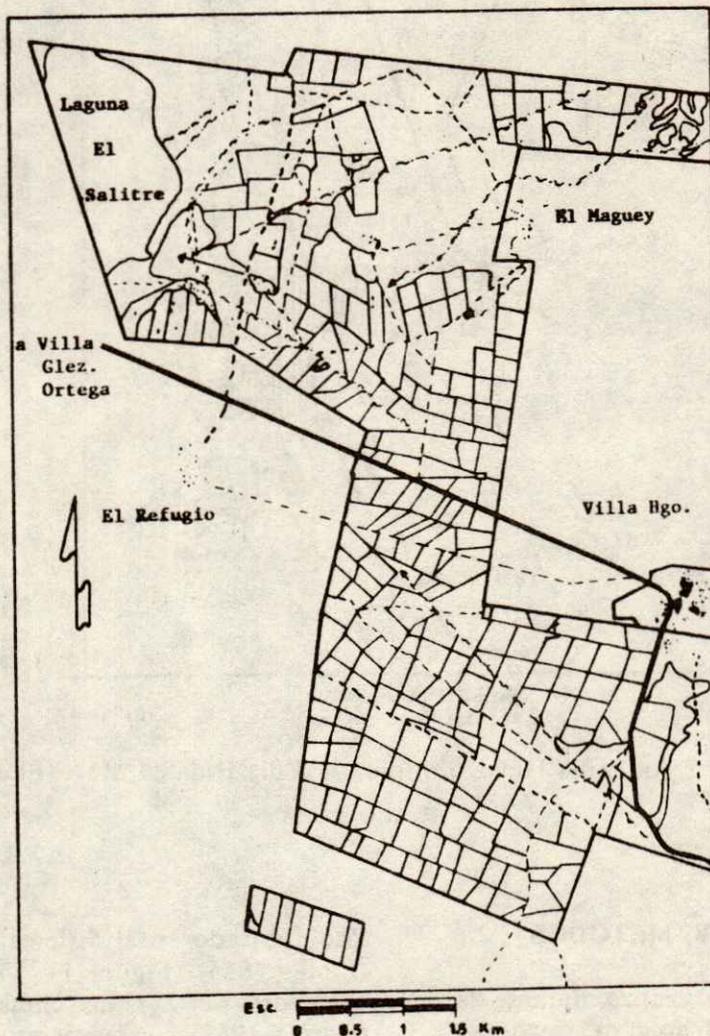


Figura 2. Mapa parcelario del Ejido Villa Hidalgo, Mpio. de Villa Hidalgo, Zacatecas.

usando para ello la carta topográfica DETENAL esc. 1:50,000, la cual trae agrupación de parcelas, por lo que es necesario ir al campo para ubicar las parcelas en forma aproximada, este mapa sirvió de base para el mapa de suelos, el cual se obtuvo consultando a los productores sobre el tipo de tierra de su parcela, hasta dónde llega, con cuáles tierras colinda, etc. de esta manera se van trazando los linderos de los tipos de tierra en el plano parcelario.

Se efectuó una comparación de mapas con la finalidad de conocer la precisión de cada mapa y saber cual proporciona mayor información. Para esto se cuadrícularon los mapas (Figura 3) de tal manera que cada unidad de muestreo (u.m) representara 25 ha en el terreno. Para escoger la u.m. se orientó hacia el norte el eje de la ordenada y se numeró de Y ...X y las abscisas X ...X; se marcaron papeletas, con cada división, y se colocaron por separado (X,

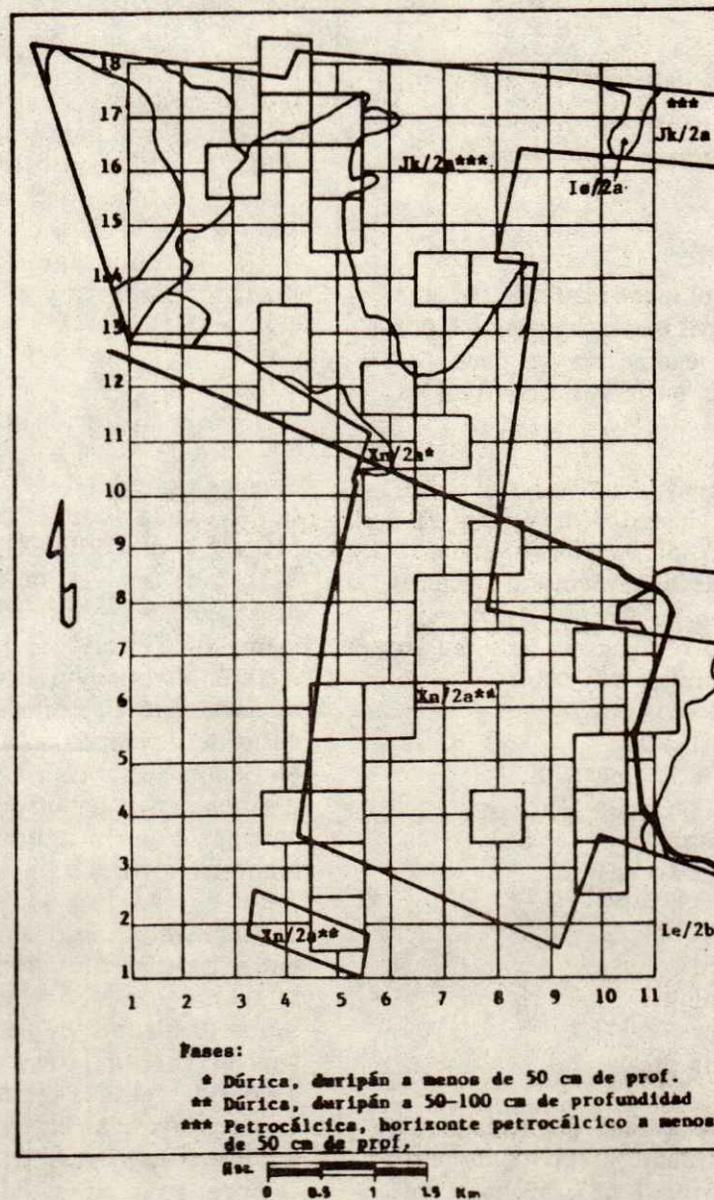


Figura 3. Mapa edafológico (INEGI, 1985) que presenta las unidades de muestreo.

Y) en una urna; posteriormente se extrajo una ficha de cada urna formando una pareja de datos y se ubicó el punto en el mapa; este punto es el vértice de un cuadrado que representa 25 ha; se contaron las clases de suelo que hay en cada unidad de muestreo, y con estos datos se realizó una comparación de medias con la prueba de "t" de Student (Infante y Zárate, 1984) para saber con ello cual mapa presenta mayor información. El nivel de precisión (NP) se obtuvo con la siguiente fórmula:

$$NP = \frac{Y}{X} = \frac{\text{Promedio tipos de suelo/unidad de muestreo (DETENAL, 1985)}}{\text{Promedio tipos de tierras campesinas/unidad de muestreo}} = Z$$

donde se deduce que el mapa edafológico tiene "Z%" de la precisión del mapa campesino o por cada clase de tierra campesina se tiene "Z" unidades cartográficas en la carta edafológica de DETENAL.

Para la comparación de tiempo y costo invertidos en los dos métodos de cartografía, primero se calculó el costo y esfuerzo requeridos para un levantamiento de suelos, para lo cual se usaron las fórmulas generadas por Bie y Beckett, 1971, con base en la escala de trabajo y estas son:

a) Relación Escala-Esfuerzo

$$\text{Log}_{10} E = 7.41 - 1.57 \text{ Log}_{10} S$$

b) Relación Escala-Costo

$$\text{Log}_{10} C = 8.16 - 1.4 \text{ Log}_{10} S$$

donde:

E = esfuerzo, días/hombre

C = costo, dólares/km

S = denominador de la escala

Se considera: una escala de trabajo da 1:12500; 27 días de trabajo efectivo por mes; superficie de trabajo de 1 687.59 ha y una paridad del dólar con el peso de \$ 2,678.00 en agosto de 1990.

Para calcular el tiempo de la cartografía campesina se tomó en cuenta: los días efectivos para la elaboración del proyecto (15); días efectivos en la obtención de la información (40) y días efectivos en la escritura del reporte (25). Para tener idea del costo se hizo con base al sueldo que percibe un académico a nivel de licenciatura en la Universidad Autónoma de Zacatecas (\$600,000.00/quincena), además de la gasolina (\$356,400.00); viáticos (\$300,000.00) y 10% de gastos imprevistos con base en el sueldo del técnico.

Los productores cartografían o identifican las tierras con base en características como: color, textura, ubicación, facilidad de manejo, pedregosidad, etc. En la Figura 4 se observa que la clase de tierra que más abunda es la parda, seguida por la canelona, colorada, parduzca y chautosa (Cuadros 2 y 3, Figura 4).

De la comparación de mapas se tiene que hay 2.3 tipos de tierra por unidad de muestreo en el mapa campesino (MC) y 1.3 en el de INEGI; se tiene también una variabilidad de 83% en el MC y 30% en el de INEGI; asimismo, el MC tiene 172.5% de la precisión del mapa de INEGI, es decir por cada clase de tierra campesina se tiene 0.579 clases de suelo de INEGI. Referente al tiempo y costo de la metodología, se tiene que su costo representa el 44% del costo del levantamiento detallado de suelos y en tiempo se ahorran 3.8 meses; aunque para el levantamiento detallado de suelos aún falta agregarle el tiempo de consulta, de laboratorio y del dibujante.

En cuanto a la relación que pudiera existir entre las clases de tierra chautosa y parda, se ubica en las áreas inundables por los desbordamientos de los arroyos cuando hay lluvias torrenciales, típicas de las zonas semiáridas, el agua va acumulando sedimentos y la tierra se va haciendo más oscura, más arcillosa; es decir, estas clases de tierras se encuentran en las hondonadas y bordeando los arroyos. La tierra colorada, extremo de las anteriores, se ubica en las partes más

Cuadro 2. Características de las tierras identificadas por los productores del Ejido Villa Hidalgo, Mpio. V. Hgo., Zacatecas.

Característica	Clases de tierras				
	Colorada	Canelona	Parduzca	Parda	Chautosa
Superficie (ha)	344.51	355.41	230.4	579.4	187.5
%	19.8	31.1	13.7	24.3	11.1
FAO/UNESCO	Re	Jc	Re	Je	Je
Fase	Regosol éútrico dúrica somera	Fluvisol cálcico Petrocálcica somera	Regosol éútrico dúrica somera	Fluvisol éútrico dúrica profunda	Fluvisol éútrico dúrica somera
Contenido de arena	Alto	Alto	Medio	Bajo	Bajo
Contenido de arcilla	Bajo	Bajo	Medio	Alto	Alto
Agrietamiento	Nulo	Nulo	Bajo	Medio	Muy alto
Profundidad	Somera ¹⁾	Somero ¹⁾	Someras ¹⁾	Profundos ¹⁾	Profundos ¹⁾
Ubicación	Áreas no inundables, muy lavadas o cansadas	Áreas no inundables lavadas o cansadas	Áreas muy poco inundables, lavadas o cansadas	Áreas poco inundables poco lavadas)	Áreas inundables, arroyos, poco lavadas
Fertilidad	Baja	Baja	Media	Alta	Alta
Ciclo de cultivo	Corto ²⁾	Corto ²⁾	Mediano	Largo	Largo
Facilidad de riego	Muy bueno	Muy bueno	Bueno	Malo	Muy malo
Cultivos adoptables	Chile, vid, calabaza, frijol, ajo, col, cebolla, lechuga	Chile, vid, frijol, ajo, cebolla, calabasa	Mais, ajo, cebolla, col, lechuga, vid, frijol, calabasa	Mais, col, lechuga, vid, frijol, ajo, calabasa	Mais, col, lechuga, frijol

1) Tierra somera \pm 0-40 cm; tierra, profunda >50 cm

2) El ciclo del cultivo se acorta hasta 30 días

Cuadro 3. Superficie (ha) y porcentaje por clase de tierra campesina y unidad cartográfica de DETENAL, 1985.

Clases de tierra campesinas			Subunidades FAO/UNESCO (INEGI, 1985)		
Tierra	Superficies (ha)	%	Subunidades	Superficie (ha)	%
Colorada	334.5	19.8	JK ³⁾ Fluvisol cálcico	218.5	12.9
Canelona	355.4	21.1	Solonchak	41.5	2.5
Parduzca	230.4	13.7	Xn ¹⁾ , Xerosol háplico	63.8	3.8
Parda	579.3	34.3	Xn ²⁾ , Xerosol háplico	1325.9	78.6
Chautosa	187.9	11.1	Ie, lufosol éútrico	37.8	2.2
	1687.5	100.0		1687.5	100.0

1) Fase dúrica, duripán a menos de 50 cm de profundidad

2) Fase dúrica, duripán a 50-100 cm de profundidad

3) Fase petrocálcica, horizonte petrocálcico a menos de 50 cm de profundidad

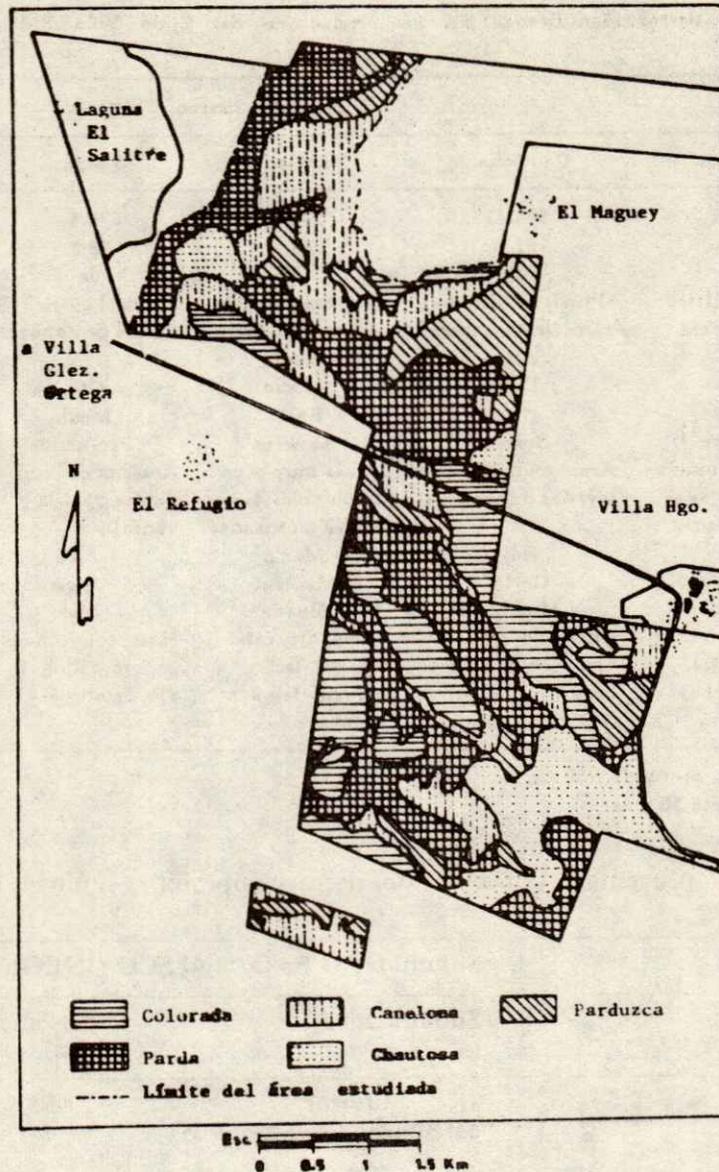


Figura 4. Mapa de clases de tierras campesinas Ejido Villa Hidalgo, Municipio de Villa Hidalgo, Zac.

altas de la planicie, en los pequeños lomeríos, donde está más superficial el tepetate rojo, que según los productores es que le confiere el color rojo. Las otras clases de tierra (canelona y parduzca) son una especie de transición a la colorada y parda y chautosa respectivamente, por lo que hay cierta tendencia a encontrarse cerca a la que más se le parece. No se descarta la posibilidad de encontrar tierra colorada donde

debería de haber tierra parda o viceversa, ya que la tierra parda también puede encontrarse en áreas que tienen poco tiempo de haber sido desmontadas.

DISCUSION

Los campesinos identifican las tierras usando características fácilmente

reconocibles, ya que son propiedades de las tierras que están muy relacionadas con su manejo y productividad; las características diferenciadoras (color, textura, profundidad, ubicación, agrietamiento, etc.) las han adoptado los productores, basándose en su experiencia en el trabajo de las tierras, por lo tanto tienen muy bien caracterizado cada tipo de tierra. Esta gama de conocimientos les ha permitido conocer el manejo y uso óptimo de cada tierra, así como las posibilidades de producción de los cultivos dependiendo de las clases de tierra, por ejemplo la vid se desarrolla mejor en la colorada, en la parda también se produce muy bien pero es menos dulce; en tierras pardas el ciclo del cultivo se alarga hasta un mes, esta diferencia se puede deber a que la tierra parda es más profunda o más fértil, con lo cual no hay condiciones que limitan el desarrollo del cultivo; en cambio la colorada es somera y poco fértil.

Cabe aclarar que la comparación que se hace a continuación, se realiza con el número de unidades cartográficas encontradas con cada método y no se compara clase de tierra campesina con unidad taxonómica FAO/UNESCO usado por DETENAL; ya que la comparación taxonómica no es factible debido a que el campesino identifica unidades de tierra en forma tridimensional y el técnico tridimensionalmente (Williams y Ortiz, 1981). Lo encontrado en el presente trabajo concuerda con el reportado por González (1988), en

Iguala, Gro., referente a que el mapa campesino, en comparación con la carta edafológica de INEGI, presenta un mayor número de clases de tierras por unidad de muestreo. Lo anterior se comprueba al obtener una media y una varianza mayores en la clasificación campesina. En cuanto a precisión, se tiene que el mapa de INEGI tiene un 58% de exactitud, respecto al mapa campesino, y es ligeramente menor a la encontrada por González, 1988, en Iguala, Gro. (62%); o dicha en otra forma, por cada clase de suelo de INEGI se tiene 1.72 tipos de tierra campesina y es ligeramente mayor al de Iguala Gro. (1.61). La mayor precisión obtenida en el mapa campesino se debe a que el productor conoce muy bien su parcela y sabe los tipos de tierra, teniéndose una mayor diversidad de tipos de tierra (cinco) que el mapa de INEGI (cuatro); esta mayor diversidad se reporta en otros estudios, Barrera, 1983; González, 1988; León, 1984 entre otros. aparte de la mayor variabilidad y precisión del mapa campesino, se tiene el manejo y uso más apropiado y minimización de las limitantes del manejo y productividad de cada tipo de tierra, con lo cual hace más útil al mapa campesino que el INEGI. Aunado a lo anterior se tiene que la clasificación campesina requiere sólo el 48% del tiempo y el 44% del costo del levantamiento detallado de suelos (Cuadro 4), estos datos son más altos a los reportados por González (1988) para Iguala, Gro., los cuales fueron 21% (tiempo) y 20% (costo). Aún así estos ahorros de tiempo y costo son muy

Cuadro 4. Tiempo y costo de la cartografía campesina de tierras y levantamientos de suelos.

Método	Tiempo	Costo (\$)	Ahorro		
			Tiempo	(\$)	%
Levantamiento de suelos	7.3 meses	12'000,140.00			
Cartografía campesina	2.5 meses	5'276,400.00	3.8 meses	6'723,748.86	56

significativos, debido a las condiciones económicas del país, las cuales no permiten realizar estudios costosos en grandes superficies, presentándose como una alternativa los levantamientos campesinos.

CONCLUSION

Con base en los resultados obtenidos se concluye que los mapas generados por medio de entrevistas son más precisos y captan más detalles de los suelos que la carta edafológica de INEGI.

Algunas clases de tierra campesina se relacionan con la topografía por lo que con base en ésta se puede inferir, con cierta probabilidad, el tipo de tierra.

LITERATURA CITADA

- BARRERA, N. 1983. Etnoedafología purépecha. El conocimiento, uso y manejo de los suelos en la Cuenca de Pátzcuaro, Mich. *In:* Toledo V.M. y Barrera, B.N. (Editores) 1984. Ecología y Desarrollo Rural en Pátzcuaro. Instituto de Biología, Universidad Autónoma de México. México. p. 205-213.
- BIE S.W. y P.H.T. BECKETT. 1971. Quality control in soil survey. Introduction: I. The Choice of Mapping Unit. *Journal of Soil Science* 22(1): 32-49.
- DE SAHAGUN, Fr. F. 1982. Historia general de las cosas de la Nueva España. Quinta Edición. Ed. Porrúa, México. p.: 701-702.
- FLORES F.J.L. 1985. Evaluación de tierras en el área de estudio del CREZAS-CP. Universidad Autónoma Chapingo, Chapingo, México (Tesis de Licenciatura).
- GONZALEZ M.R. 1988. La clasificación campesina como un sustituto de los levantamientos detallados de suelos. Colegio de Postgraduados. Montecillo, México (Tesis de Maestría).
- GARCIA DE MIRANDA, E. 1983. Apuntes de climatología, UNAM, México.
- INEGI. 1985. Cartas temáticas F14-A71, escala 1:50,000 (topográfica, edafológica, geológica y uso actual). Secretaría de Programación y Presupuesto. México, D.F.
- INFANTE, G.S. y G. ZARATE P.E. DE L. 1984. Métodos estadísticos, un enfoque interdisciplinario. Ed. Trillas, México, p. 363.
- LEON, A.R. 1984. Nueva edafología. Regiones tropicales y áreas templadas de México. Ed. Gaceta, México. p: 243-245.
- LUNA O.P. 1980. Clasificación campesina de los terrenos del ex-lago de Texcoco y su relación con el levantamiento de suelos. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México (Tesis de Licenciatura).
- ORTIZ S., C.A., D PAJARO H. y V. ORDAZ C. 1989. Manual para la cartografía de clases de tierras campesinas. CEDAF, Colegio de Postgraduados. Montecillo, México.
- PEREZ P., J.M. 1984. Caracterización y utilización de la clasificación maya de suelos en el municipio de Oxkutzcalco, Yuc. Universidad Autónoma Chapingo, Chapingo, México (Tesis de Licenciatura).
- QUIROZ, M.J. 1983. Clasificación Otomí de tierras de dos sistemas terrestres del Valle del Mezquital, Hgo. Universidad Autónoma Chapingo, Chapingo, México (Tesis de Licenciatura).
- TOLEDO, V.M., MAPES C. y CARLOS T. 1985. Ecología y autosuficiencia alimentaria. Editorial Siglo Veintiuno, México, D.F.
- WILLIAMS, B.J. y C.A. ORTIZ S. 1981. Middle American Folk Soil Taxonomy. *Association of American Geographers. USA.* 71(3): 335-358.

UNIFIED INDEX OF SOIL STRUCTURE STABILITY
(Example of two soils of Mexico)

Los Indices de la Estabilidad de la Estructura del Suelo
(Ejemplo de Dos Suelos de México)

Klaudia Oleschko, Héctor M. Arias R., and R. Fernando Cabrera C.

Centro de Edafología, Colegio de Postgraduados,
56230 Montecillo, Méx.

Index words: Soil physics, Optimum structure, Micromorphology, Vertisols, Andosols.

Palabras clave: Física de suelos, Estructura óptima, Vertisoles, Andosoles, Micromorfología.

SUMMARY

The unified structure indexes (USI) are proposed as quantitative expressions of soil structure stability. These indexes represent the relationship between the actual value of all characteristics that describe soil structure, determined in the soil under field conditions, and its theoretically predicted optimum values (Optimum structure-OS). Two agricultural soils from Mexico, a pellic Vertisol and a mollic Andosol were subject to model experiments to define their OS. Both soils had been under conventional and zero tillage for several years. The values of Vertisol and Andosol USI revealed the clear differences in the levels of soil structural system development. Because the USI values of the Andosol are closer to 1, it can be said that its structural properties are near the

optimum; however, structural properties of the Vertisol are far from ideal (USI equal to 0.02). The Vertisol under conventional tillage had better structure than under zero tillage. In contrast, the Andosol structure was better under zero tillage. The USI allowed the quantification of each one of soil structure parameters. Using USI, the soil structure may be studied as the dynamic property depending on different external factors.

RESUMEN

Los índices estructurales unificados (USI) se proponen para expresar cuantitativamente la estabilidad de la estructura del suelo. Son relacionados entre los valores reales de las características que describen la estructura del suelo, determinadas en condiciones del campo, y sus valores teóricos óptimos (estructura óptima - OS). Para definir los OS se emplearon suelos agrícolas de México, Vertisol pélico y Andosol mólico que se sometieron a una serie de modelaciones experimentales. Ambos suelos habían sido manejados con labranza cero y convencional por varios años. Los USI del Vertisol y del Andosol revelaron diferencias claras en el nivel de desarrollo de sus sistemas estructurales. Los valores de USI del Andosol

Recibido 5-91.

se aproximan a 1, por lo que se puede deducir que sus propiedades estructurales son cercanos a las óptimas. Las propiedades estructurales del Vertisol son más alejadas de las ideales (USI igual a 0.02). El Vertisol con laboreo convencional tiene una estructura más estable que con labranza cero. Al contrario, la estructura del Andosol mólico fue más satisfactoria con labranza cero. Los USI permitieron cuantificar todos los parámetros estructurales en su conjunto. Utilizando USI se puede estudiar la dinámica de la estructura del suelo particularmente el efecto que tienen sobre ella los factores externos.

INTRODUCTION

The structure that ensures the optimum soil physical conditions for crop emergence, growth and production can be defined as optimum soil structure (OS). The characteristics that soil scientists have traditionally used to describe soil structure are macro and micro-aggregate distribution according to size and frequency, pore size distribution, internal aggregate porosity, pore continuity, aggregate stability in water, and mechanical resistance (Burke *et al.*, 1986). However, the values of the parameters mentioned above have to be optimum for optimum soil structure. According to the literature optimum values for total porosity pore continuity, internal aggregate porosity, aggregate stability in water and mechanical resistance are similar for soils of different genesis. For instance, the value of the optimum total porosity of a soil should range from 55 to 65% (Kachinsky, 1965). The aggregates should be porous (pore diameter $> 75 \mu$) to guarantee internal aerobic conditions, but a sufficient number of pores with diameters from 30 to 2μ , should also exist in order to retain enough water for plant growth. The size of inter-aggregate pores may also be larger than 75 to promote rapid infiltration or drainage (Tisdall and Oades, 1982).

The aggregates in any soil with optimum structure must be stable in water,

mechanically resistant and must have continuous pores. The structural characteristics, whose optimum values depend on soil genesis, climate conditions, crop rotation or vegetation cover, are optimum aggregate size (D_{opt}), and optimum pore size (P_{opt}).

In soils from arid and semiarid zones, optimum aggregate size needs to be small to prevent excess aeration and to provide greater water conservation (Kachinsky, 1965). However, in these soils deflation of the arable horizon is a limiting factor to reach optimum aggregate size. Chepil (1958) observed that aggregates from 0.05 to 0.50 mm to be easily wind borne, while those with 0.84 mm mean diameter or larger resisted being blown away; this author concluded that the latter aggregate size is a form of natural protection of the soil to wind erosion.

The opposite is true in humid zones, where optimum size for structural elements approaches 10 mm, assuring better air and water soil permeability and reducing erosion by water (Kachinsky, 1965). In a general way, soil scientists currently agree that whether a structure is acceptable or not depends on the percentage of aggregates between 1 and 10 mm in diameter that are stable in water and mechanically resistant (Tisdall and Oades, 1982, Braunack and Dexter, 1988).

The main objective of this research was to develop a procedure to predict the optimum structure (OS) of two soils, an Andosol and a Vertisol, from Mexico, and to compare their OS with their actual structure arrangement in the field.

The Unified Indexes of Soil Structure Stability (USI).

We propose the unified soil structure indexes (USI) as quantitative expressions of soil OS. USI is represented as the product of the following factors:

$$USI = ID_G \cdot IP_G \cdot I \alpha \cdot I B \quad (1)$$

where ID_G , IP_G , $I\alpha$ and IB are indexes of the optimum values of the aggregate geometric mean size, pore geometric mean size, the aggregate water stability, and the mechanical resistance respectively.

These indexes represent the relationship between the measured values of the above mentioned parameters in the soil under field conditions and their theoretically predicted optimum value. For instance,

$$ID_G = D_G / D_{Gopt} \quad (2)$$

where D_G is the actual value of the medium aggregate size under field conditions, and D_{Gopt} is the optimum value.

Other structural characteristics, as total porosity, internal aggregate porosity, and pore continuity were not included in USI to make calculations easier. However, if required, equation (1) can be expressed,

$$USI = ID_G \cdot IP_G \cdot IP \cdot I\alpha \cdot IB \quad (3)$$

where IP is the total soil porosity index. The IP can be calculated with the following equation:

$$IP = IP_{tot} \cdot IP_{int} \cdot IP_{was} \cdot IP_{air} \cdot I\gamma \quad (4)$$

where IP_{tot} is the soil total porosity index, IP_{int} is the internal aggregate porosity optimum index, IP_{was} is the porosity occupied with available water optimum index, IP_{air} is the porosity occupied with air optimum index and $I\gamma$ is the pore continuity optimum index.

To further simplify the calculations of USI, the aggregate diameter (D_G) can be related to the equivalent pore radius (P_G) as proposed by Haverkamp and Parlange (1986):

$$D_G = \delta \cdot P/2 \quad (5a)$$

$$D_G = \delta_{opt} \cdot P_{Gopt}/2 \quad (5b)$$

where δ is a packing coefficient of the soil, which can be calculated from Dexter structural

measurement analysis (see Materials and Methods).

If P_{Gopt} are expressed as function of D_G and D_{Gopt} using equation 5a and 5b and these functions are substituted in the USI equation (1) the former can be rewritten as:

$$USI = \delta / \delta_{opt} (ID_G)^2 \cdot I\alpha \cdot IB \quad (6)$$

The USI of a soil, under a specific tillage system expresses the degree of its structural system development with regard to its theoretical optimum state. The USI of a soil with optimum structure would approach a value of 1.

MATERIALS AND METHODS

Two agricultural soils from Mexico, a pellic Vertisol (from Guanajuato) and mollic Andosol (from Michoacan) were subjected to model experiments to define their OS. Both soils had been under conventional and zero tillage for several years. Zero tillage (ZT) have been practiced for 6 and 2 years in the Andosol and the Vertisol, respectively, by simultaneously machine planting and fertilizing, hand harvesting and subsequent spreading of the stubble mulch. Conventional tillage (CT) in the Vertisol refers to ploughing with a reversible three disk attachment (0.25 m), two diskings (0.10-0.15 m), planting and fertilizing; and in the Andosol, CT refers to ploughing (0.30 m), disking (0.15 m), planting and fertilizing.

Disturbed and undisturbed samples (0 to 0.25 m depth) were obtained after harvesting. Disturbed samples were used for the model experiments and physical soil properties analysis (Table 1). Undisturbed samples were drawn by placing a steel mould (0.12 x 0.14 x 0.25 m) on the soil surface and then adding a mixture (1:1) of epoxy resin HU-543 and acetone to impregnate the soil. The induration of the resin took 5 hours. The undisturbed samples were used to evaluate the actual structural arrangement of the soil.

Table 1. Pellic Vertisol and mollic Andosol (0-25 cm) properties under zero (ZT) and conventional tillage (CT) system.

Sample	Tillage system	Textural properties (% w/w)			Organic matter (% w/w)	Bulk ¹⁾ density (g/cm ³)	pH (H ₂ O)	E.C. ²⁾ dsm-1	CEC ³⁾ meq/100 g
		Sand	Silt	Clay					
Pellic Vertisol	ZT	18	14	68	2.68	1.00	6.9	0.57	48.6
	CT	30	16	54	2.68	1.00	7.4	0.55	29.1
Mollic Andosol	ZT	31	38	31	2.05	0.63	6.3	-	-
	CT	28	40	32	2.05	0.66	6.5	0.051	39.5

1) Determined at a tension of 0.3 atm.

2) Electric conductivity (Wheatstone bridge).

3) Cation exchange capacity (1 N ammonium acetate at pH = 7).

MODEL EXPERIMENTS

The main objective of the model experiments was to determine the optimum parameters values necessary for the USI calculations. It was based on the evaluation of the dynamics of some physical properties as a function of aggregate size in soil with alternative wetting-drying process.

Aggregate size distribution analysis was performed on disturbed samples by dry sieving (Kaurichev, 1984). Geometric mean diameter of the aggregates was calculated according to ASAE standard (1978):

$$\bar{D}_{50} = \log^{-1} (\sum W_i \cdot \log D_i / \sum W_i) \quad (7)$$

where \bar{D}_{50} is the geometric mean aggregate size, W_i is the weight of the fraction on the i -th sieve, and D_i the diameter of the i -th sieve opening.

The macroaggregate fractions selected from the Vertisol ($\bar{D}_{50} = 8.3$ mm) were 2-4, 4-5; 5-11.5 and 11.5-22.1 mm. Macroaggregates from the Andosol ($\bar{D}_{50} = 0.8$ mm) were only < 0.5 and 0.5-1.0 mm diameters, since aggregates larger than 1 mm were not obtained in sufficient amount.

Ten kilograms of the above fractions and of the unfractionated soil were placed on aluminum pans on a carousel of a rotating disk rainfall simulator (Morin *et al.*, 1967).

Perforated pans were used to allow runoff and to measure infiltration. Rainfall intensity was regulated by a rotating disk with a 20°C aperture and a controlled hydrostatic pressure system.

Three rains of equal kinetic energy (2490 Jm⁻²), selected according to the average magnitude of natural rains of the study areas, were applied with a 15-day periodicity between events.

Soil samples were taken from the pans (three replicates) for physical analysis 3 days after each rainfall application.

Erodibility, bulk density, contraction soil pattern (cracking), total porosity, air-filled porosity, and resistance to penetration were determined as function of moisture content and aggregate size.

Erodibility was measured with Ellison type-cups (Hudson, 1971). The cups were filled either with air-dried soil or aggregate fractions, weighed and subjected to a 103 mm h⁻¹ simulated rainfall for 2 hours. The rainfall had an energy equivalent to 43 erg cm.cm⁻²s⁻¹. Treated soils or aggregates were dried to constant weight, and soil losses due to splashing were calculated by weight difference.

Erodibility was calculated using the Universal Soil Loss Equation (Wischmeier and Smith, 1978) as

$$K = A/R$$

where K is soil or aggregate erodibility ($\text{g cm}^{-2} \text{ erg cm cm}^{-2} \text{ S}^{-1}$), A is splash erosion (g cm^{-2}), and R is rainfall energy ($\text{erg cm cm}^{-2} \text{ S}^{-1}$). Bulk density was determined on 7.5 cm^3 undisturbed samples, covered with a film of Saran resin F-383 (prepared in a 1:8 resin-distilled acetone ratio), air dried and weighed in water. The samples were oven dried and the bulk density was calculated for soil with different moisture contents (Soil Survey Staff, 1975).

Contraction pattern of the pellic Vertisol was characterized using bulk density data, according to the Fox (1964) model for the 3-dimensional contraction as:

$$D = D_{\min} / (D_r + W D_{\min} + E_{\min})^{1/3} \quad (8)$$

where D is bulk density, D_{\min} is minimal bulk density, D_r is particle density, W is moisture content, and E_{\min} is air-filled porosity at D_{\min} .

The 1-dimensional contraction pattern can be calculated, using the same model, as

$$D = 1 / (D_r + W + E_{\min} / D_{\min}) \quad (9)$$

Soil cracking of the pellic Vertisol was evaluated from the cumulative reduced-volume/moisture-decrease ratio.

Total porosity of samples was calculated using bulk density data and its related moisture content. The difference between total porosity and moisture content was assumed to be air-filled porosity at different moisture contents.

Information about penetration resistance is useful to evaluate critical moisture content for plant emergence. The aggregate and non-fractionated soil penetration resistance was measured on the rainfall simulation pans at

different moisture contents using penetrometers.

Aggregates showing the lowest erodibility, largest total porosity, largest air-filled porosity, lowest cracking, smallest mechanical resistance to penetration in the range of soil moisture studied, were considered as those with the optimum diameter (D_G^{opt}).

The packing parameter (δ) of both soils was determined according to soil structure arrangement data obtained directly in the field, using Dexter's method (1976) and undisturbed samples (six replicates). The impregnated samples were removed from the moulds and sectioned in $120 \times 140 \times 5 \text{ mm}$ slices using diamond saw blades lubricated with diesel.

Soil structure was quantified using the Dexter (1976) procedure. Five parallel lines 12 cm long were scratched on the surface of the slices at $3, 8, 15, 25$ and 40 mm from the border of the sample. Distribution of aggregates and voids was analysed at 0.5 mm intervals along every line at each of 240 points on the line. The average macroaggregate size, the average macropore size and the entropy (degree of structural disorder) were calculated by the Dexter's method (1976). It was assumed that the average macroaggregate size (\bar{D}_{50}) can be related to the average macropore radius \bar{R} (cm) by:

$$\bar{D}_{50} = \delta \cdot \bar{R}$$

where δ is assumed constant (Haverkamp and Parlange, 1986).

Aggregate stability (α) was evaluated from data obtained in the dry and wet sieving analysis of macroaggregates (Kaurichev, 1984). The sum of the weights of the aggregates ranging from 0.25 to 10 mm diameter resulting from the wet sieving was related to the sum of the weights of the aggregates of the same size obtained from dry sieving. The higher the α value, the more stable in water the soil structure.

Mechanical resistance of aggregates was quantified using the dropshattered soil fragmentation method of Hadas and Wolf (1984). Air dried clods were dropped from 1.2 and 2.4 m high unto a pavement (two replicates). The fractured soil was collected, sieved and weighed geometric mean of aggregate diameter was determined by the ASAE proceeding (1978) as the initial geometric mean diameters (D_{50i}) and the final geometric mean diameter (D_{50f}). The specific surface area of the aggregates after fracturing (E_{D50f}) was calculated and compared with the magnitude of the specific energy required to reduce the aggregate size. The above mentioned relationship is a function of the aggregate mechanical resistance.

The above relationship can be calculated for homogeneous soils according to Hadas and Wolf (1984).

$$E_{D50f} - E_{D50i} = \tau (D_{50f})^{-1} - (D_{50i})^{-1}$$

where τ is the constant obtained in laboratory.

USI were calculated according to the procedure proposed by the authors in this paper, after obtaining the values of D_{50} of the aggregates

in both soils. The average macroaggregate size values obtained by Dexter's method were assumed as soil D_{50} values in field conditions. The USI values corresponding to zero and conventional tillage were compared in both soils.

RESULTS AND DISCUSSION

Model Experiments.

The highest erodibility (K) corresponded to the Vertisol (K = 0.05), while the Andosol showed smaller values (0.037). The 2-4 and 5-11.5 mm diameter aggregates in the Vertisol showed K values slightly lower than those of the unfractionated soil (K = 0.041, and 0.42, respectively). The 0.5 - 1.0 mm diameter aggregates of the Andosol showed the smallest K values (K = 0.028). Erodibility was closely related to aggregate stability in water. The structure of the less erodible soil (Andosol) was more stable than that of the Vertisol, particularly the 0.5 - 1. mm diameter aggregates of the Andosol.

Differences between tillage systems on soil erodibility were not significant in the splash erosion experiments (Table 2). Bulk density (D) of Vertisol increased with moisture

Table 2. Pellic Vertisol, mollic Andosol and aggregate erodibility (K).

Soil	Tillage system	Initial aggregate diameter (mm)	Soil loss (g/cm ²)	Kinetic energy ₂ (erg/cm ²)	K	K ₁ ^{1*}
Pellic Vertisol (0-25 cm)	ZT	2-4	1.72	249.4	0.041	0.05
		4-5	1.88	11	0.044	
		5-11.5	1.79	11	0.042	
		11.5-22.1	2.03	11	0.048	
		R ²	2.12	11	0.050	
Mollic Andosol (0-25 cm)	ZT	0.5-1.0	1.20	243.4	0.028	0.022
	CT	0.5-1.0	1.14	11	0.028	
	Forest	<0.25	1.59	11	0.037	
		0.5-1.0	1.57	11	0.037	
		R	1.11	11	0.026	

K₁¹ - Morgan R.P.C. (1981)

R² - Unfractionated soil

Forest² - Soil under native condition.

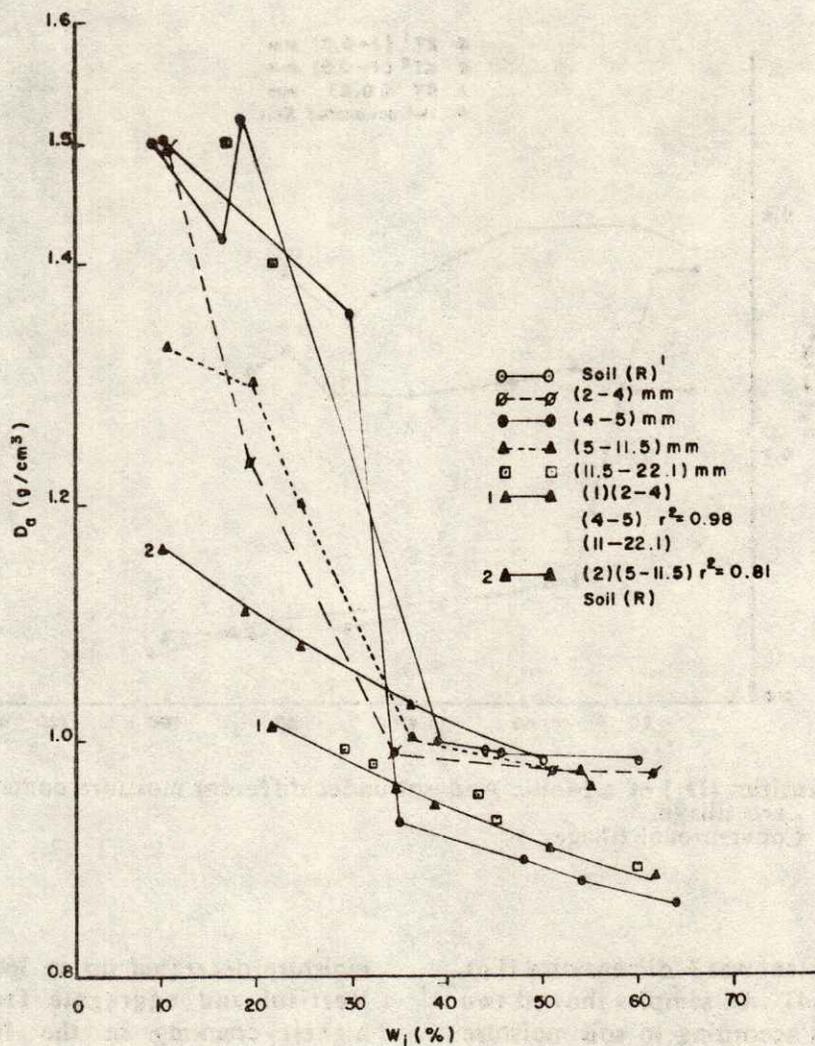


Figure 1a. Bulk density (D_a) of a pellic Vertisol under different moisture contents (experimental data).
 (1) and (2) are theoretical curves (Fox model).
 IR - Unfractonated soil.

content reduction (Figure 1a) while the Andosol did not show a definite trend (Figure 1b).

The 4-5 mm diameter aggregates of the Vertisol and the (0.5-1) mm diameter aggregates of the Andosol (CT) showed the smaller bulk density values, independently of moisture content. The larger values were found for the unfractonated Vertisol.

The aggregates of the Andosol under zero tillage management had higher bulk densities than those obtained from conventional tillage in the moisture range of 15-60%. The higher increase in bulk density in all the Vertisol samples corresponded to the 10-36% moisture range.

The contraction pattern of undisturbed Vertisol and its various size aggregates up to

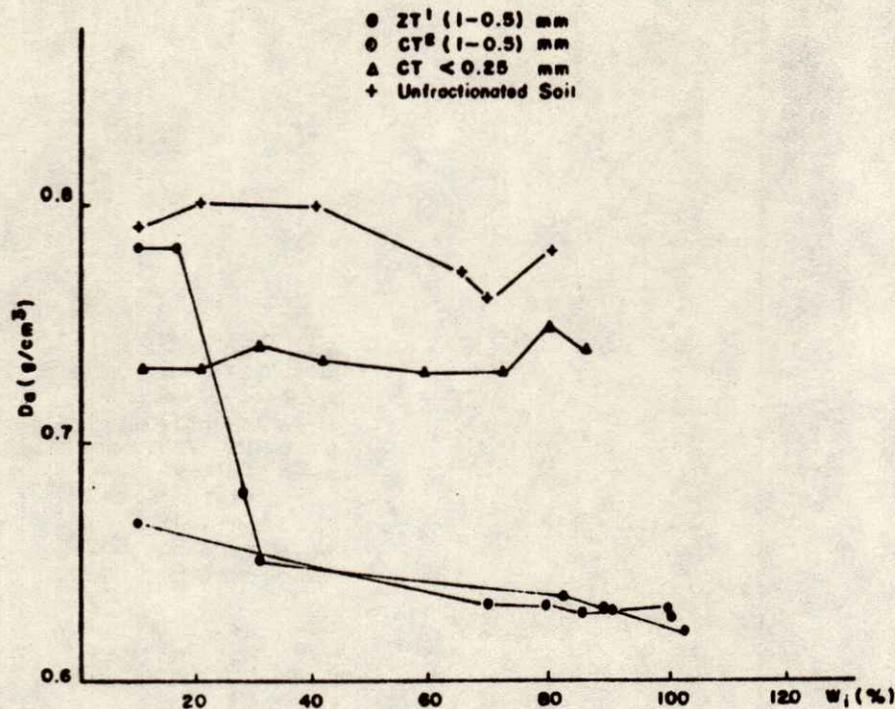


Figure 1b. Bulk densities (D_b) of a Mollic Andosol under different moisture contents (w_i).
 1 ZT - Zero tillage.
 2 CT - Conventional tillage.

36.5% moisture content was 3-dimensional (Fox equation; Fox, 1964). All samples showed two contraction phases according to soil moisture content: (1) a structural contraction occurred at the 36-65% moisture content range; i.e., small total volume and total soil porosity changes (4%) corresponding to remarkable moisture changes (25%), and (2) a residual contraction occurred at moisture content less than 36%; i.e., an exponential relation between bulk density increase and moisture content decrease. The normal phase of contraction was not detected (Cabrera and Oleschko, 1990).

Soil cracking was analyzed using the cumulative reduced-volume/moisture-decrease ratio. Moisture content was exponentially (negatively) related to volume reduction (Figure 2). As small reduction in the volume of non-fractionated Vertisol, as well as of its aggregates, was observed when soil

moisture decreased up to 36%. Undisturbed Vertisol and aggregate fractions showed highest cracking in the 10-36% moisture content range. Only 17% of the sample volume reduction was explained by moisture content decrease ($R^2 = 0.83$). The remaining 30% corresponded to clay contraction expressed as crack formation.

The 4-5 mm diameter aggregates showed the lowest cracking (Figure 2). In contrast, the Andosol did not show any cracking, since there are no clear evidences of volume reductions with decreasing moisture content.

The soil wetting process permitted an analysis of the dynamics of the total porosity. Larger increase in total porosity was observed in the 10-36% moisture content range in the Vertisol that corresponded to smaller increase in moisture content (Figure 3).

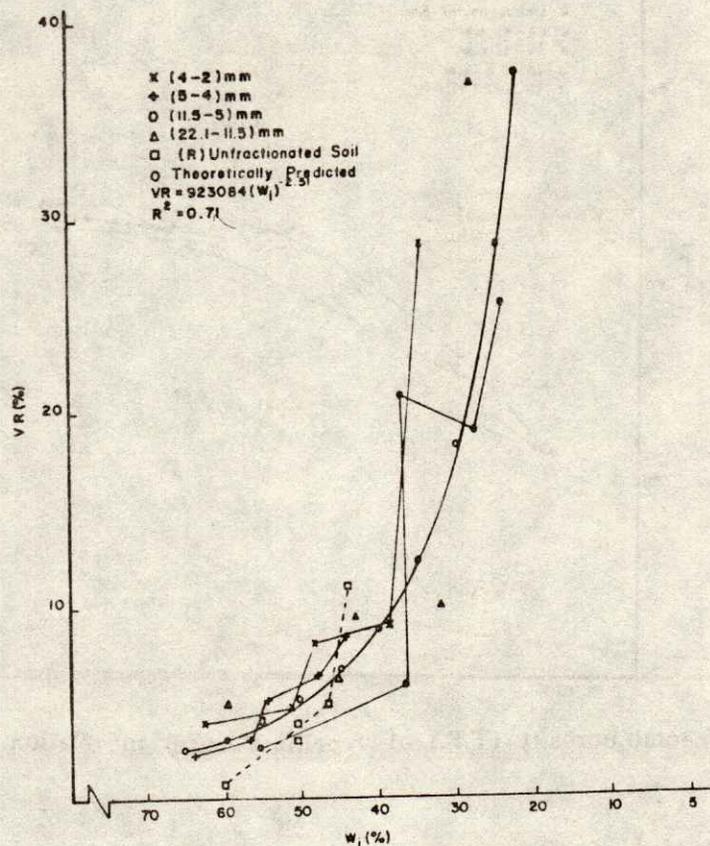


Figura 2. Relationship between accumulated reduced volume (VR) and moisture content (W_1) of a pellic Vertisol.

Similar changes were detected for the non-fractionated soil and its aggregates. In the 36-65% moisture range, a small increase in total porosity corresponded to higher moisture contents. For instance for the 2-4 mm diameter aggregates total porosity increased 30% when moisture content increased 11% (from 17 to 28%), while only a 3% total porosity increase was shown with a moisture content change from 37 to 47%. It can be said that the 10-36% moisture content range is decisive in the expansion and contraction processes of the Vertisol. The unfracted Vertisol and the 4-5 mm diameter aggregates showed the lowest and the highest total porosity values respectively within the moisture range studied. The total porosity changes with moisture content for the latter fraction were less sharp (Figure 3).

The air-filled porosity at different soil moisture contents of the Vertisol was higher for the 2-4 and 4-5 mm diameter aggregates when compared with the non-fractionated soil (Figure 4).

Resistance to penetration of both the Vertisol and the Andosol not only depended on moisture content, but also on the aggregate size (Figure 5 and 6). In both soils the highest resistance corresponded to the undisturbed soil. The smallest values were those of the (4-5) mm diameter aggregates of Vertisol, and the (0.5-1) mm diameter aggregates of Andosol. The undisturbed Andosol had the maximum penetration resistance value ($1.4 \times 10^4 \text{ kg/m}^2$) at 20-25% moisture content. At the same moisture content, the

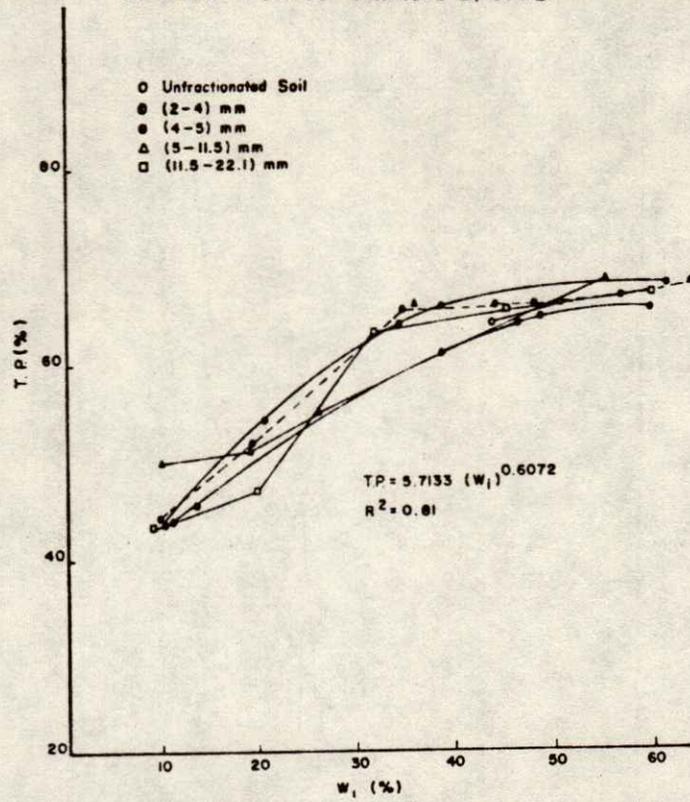


Figure 3. Dynamics of total porosity (T.P.) of a pellic Vertisol in relation to moisture content (W_i).

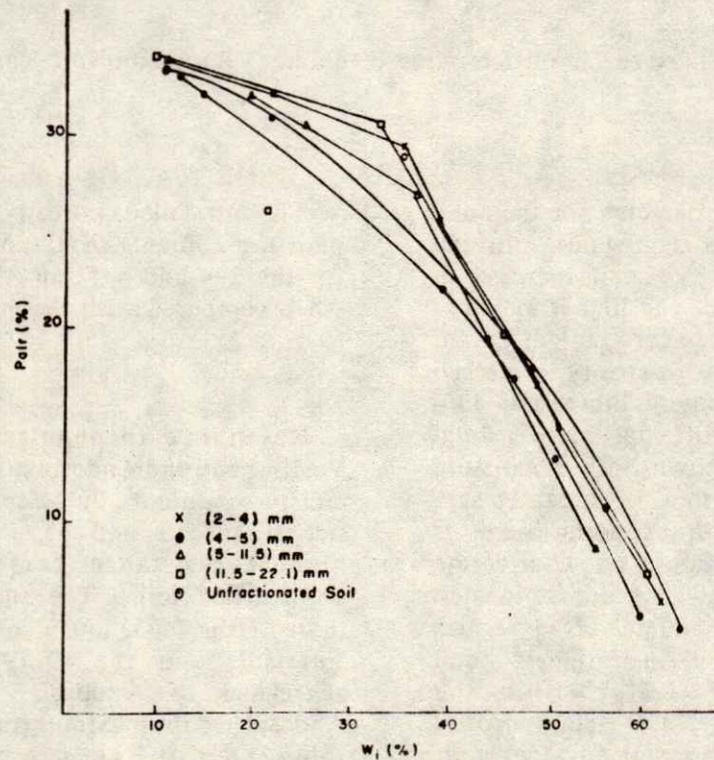


Figure 4. Dynamics of air-filled porosity (Pair) of a pellic Vertisol in relation to moisture content (W_i).

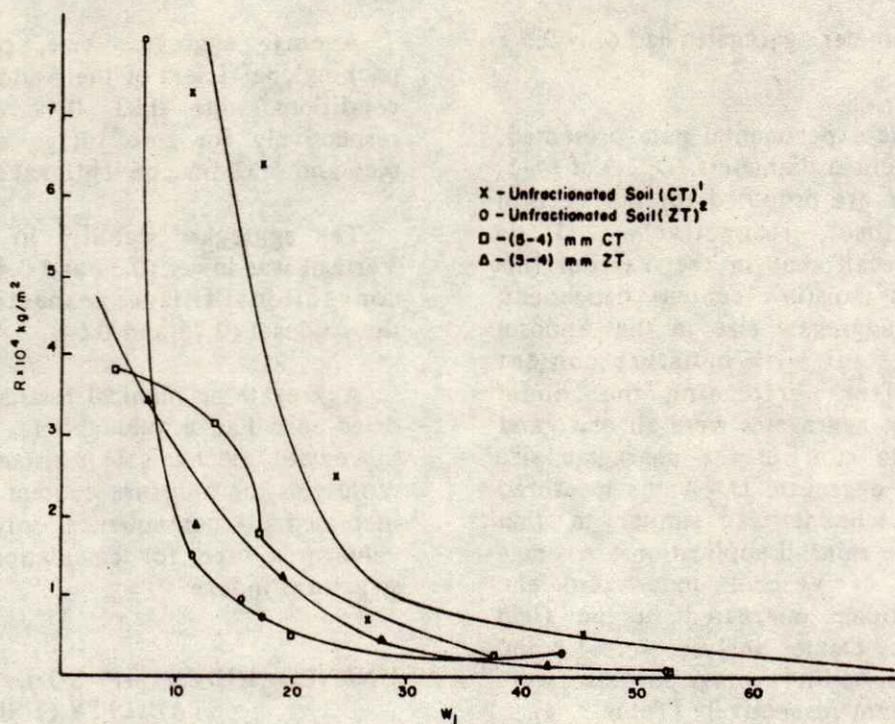


Figure 5. Penetration resistance of unfractionated pellic Vertisol and its aggregates as a function of moisture.
1-(ZT), zero tillage.
2-(CT), conventional tillage.

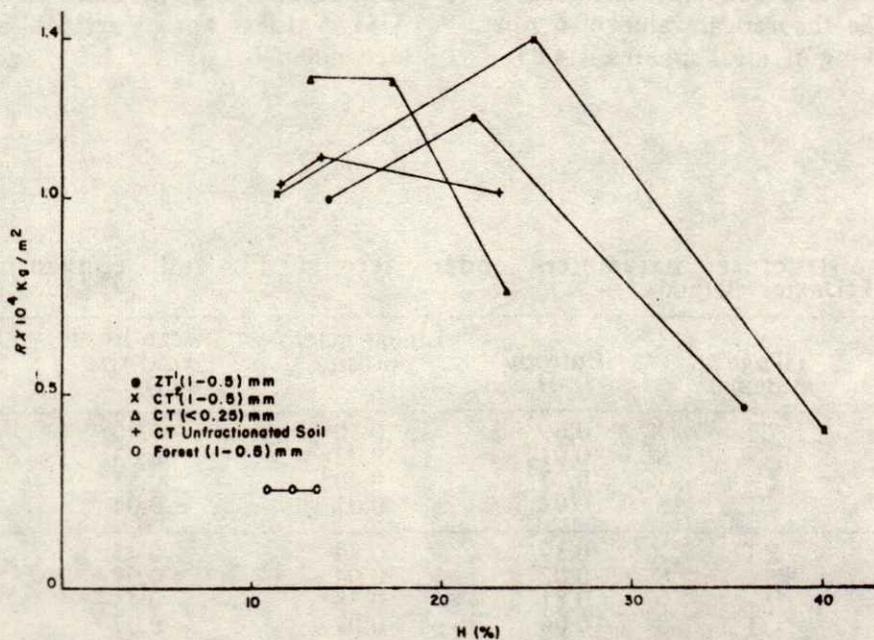


Figure 6. Penetration resistance of different aggregate fractions and unfractionated soil as a function of moisture content (mollic Andosol).
1-(ZT), zero tillage.
2-(CT), conventional tillage.

(0.5-1) mm diameter aggregates had only 0.5×10^4 kg/cm².

Based on the experimental data presented, optimum theoretical diameters (D_{opt}) of (4-5) and (0.5-1) mm are proposed for the Vertisol and the Andosol, respectively. It is necessary to recall that in the Vertisol this parameter was moisture content dependent; however, the aggregate size in the Andosol remained constant with moisture content changed. After performing the model experiments the aggregates were air dried and sieved again to confirm the aggregate size stability. The aggregate D_G value measured after the experiment was similar to that obtained before rainfall application. Average aggregate size of Vertisol under zero and conventional tillage measured in the field according to the Dexter analysis were 1.2 and 0.8 mm. Corresponding average pore sizes were 0.39 and 0.53 mm respectively (Table 3, 4).

Aggregate and pore sizes were used to calculate the soil aggregate packing coefficient (δ). The packing coefficients for Vertisol under field conditions were 5.15 and 3.04 for zero and conventional tillages, respectively. The theoretical value of δ for a pyramidal packing of ideal spheres is 4.83.

Average aggregate size, pore size and packing coefficient of the Andosol under field conditions were 0.83, 0.47 mm and 3.82 respectively for zero tillage and 0.71 mm, 0.46 and 3.52 for conventional tillage.

The aggregate stability in water of the Vertisol was lower (0.39 and 0.47 for zero and conventional tillage, respectively) than in the Andosol (0.75 and 0.64).

Aggregate mechanical resistance of the air dried soils had a value of 1. However, the aggregate mechanical resistance decreased rapidly as the moisture content of the sample increased. In consequence, only the air dried value was used for calculation of the soil structural indexes.

UNIFIED INDEX OF SOIL STRUCTURE STABILITY (USI)

The USI values of the Vertisol and the Andosol under conventional and zero tillage were calculated according to equation (6). The USI values for Andosol can be considered as independent of moisture content, while the USI values for Vertisol are moisture dependent.

Table 3. Soil structure parameter under zero (ZT) and conventional tillage (CT) (Dexter method).

Soil	Tillage system		Entropy H	Linear macro-porosity	Mean linear void size (mm)	Mean linear aggregate size (mm)
Pellic Vertisol (0-25 cm)	ZT	\bar{X}^1	0.69 ³	0.30 ³	0.40 ³	1.02
		S^2	0.01 ³	0.02 ³	0.03 ³	0.02 ³
	CT	X	0.77 ³	0.40 ³	0.53 ³	0.80 ³
		S	0.01	0.01	0.04	0.02
Mollic Andosol (0-25 cm)	ZT	X	0.89	0.39	0.47	0.82
		S	0.02	0.04	0.09	0.12
	CT	X	0.81	0.38	0.43	0.32
		S	0.06	0.07	0.07	0.01

\bar{X}^1 Mean value

S^2 Standard deviation

³ Significant differences (P = 0.01) ZT:CT

Table 4. Macroaggregate composition of pellic Vertisol and mollic Andosol under zero (ZT) and conventional tillage (CT).

Soil	Tillage system		Aggregate diameter								
			11.5	4.76-11.5	4.0-4.76	2.0-4.0	1.0-2.0	0.5-1.0	0.25-0.5	0.25	D ₅₀
Pellic Vertisol	ZT	air dried	63.6	10.6	6.6	5.4	8.1	2.2	0.5	2.0	8.3
		moist	-	-	-	0.7	2.5	29.5	6.5	60.8	0.4
	CT	air dried	59.2	27.2	-	5.1	6.4	1.2	0.2	0.8	7.6
		moist	-	-	-	0.6	2.6	26.7	11.1	52.8	0.6
Mollic Andosol	ZT	air dried	0.0	0.2	0.6	3.8	2.9	40.7	7.7	44.1	0.9
		moist	-	-	0.8	1.0	3.8	10.8	25.5	58.2	0.5
	CT	air dried	0.0	0.2	0.6	4.2	3.4	37.2	10.0	44.2	0.9
		moist	-	-	1.0	0.9	3.3	8.8	22.2	63.9	0.5

ID_G of the pellic Vertisol and the mollic Andosol under zero and conventional tillage management were 0.23 and 0.18 and 0.91 and 0.94, respectively.

As an optimum aggregate arrangement, we accepted the pyramidal one which corresponds to the largest pore radius yielding a value of $\delta_{opt} = 4.83$ (Gupta and Larson, 1979). However, δ is constant only in the case of complete stability of the structural elements of soil. In the case of the Vertisol the stability conditions are not fulfilled, so δ can only be considered constant when soil is air dried; while for Andosol, δ is constant throughout the whole moisture range.

Since the optimum theoretical value of aggregate stability in water (α) was considered as 1.0, i.e. indexes of the α 's were the same as the real α values. The optimum aggregate mechanical resistance (β) value was also considered as 1.0 so the indexes of the β values were the same as the real values.

The unified indexes of soil structure stability (USI) calculated for the Vertisol and the Andosol under zero and conventional tillage were 0.019 and 0.024, and 0.85 and 0.75, respectively. These indexes were obtained as explained in the Materials and Methods chapter using Equation 6 and the data given in Table 5.

Table 5. Indexes of optimum aggregate size (ID_G), optimum aggregate water stability (I_α), optimum aggregate mechanical resistance (I_β), real and optimum aggregate packing coefficients (δ and δ_{opt}) of Vertisol and Andosol under zero (ZT) and conventional (CT) tillage.

Parameters	Andosol		Vertisol	
	ZT	CT	ZT	CT
ID _G	0.91	0.94	0.23	0.18
I _α	0.75	0.64	0.39	0.77
I _β	1.00	1.00	1.00	1.00
δ	3.52	3.82	5.15	3.04
δ_{opt}	4.83	4.83	4.83	4.83
USI*	0.85	0.75	0.019	0.024

*Unified indexes of soil structure stability.

CONCLUSION

- The values of USI of the Vertisol and Andosol showed the clear differences existing in the structural arrangement and also reflected objectively the differences in the levels of soil structural system development. This behaviour is attributed to soil genesis. Because the USI values of the Andosol are closer to 1, it can be said that its structural properties are near the optimum, however, structural properties of the Vertisol are far away from ideal.
- Aggregate average size and aggregate stability in water can be considered as

the principal problems of the Vertisol structure. The reason for low water stability of Vertisol structure was the alternative expansion and contraction of the fine material with moisture change. Its control can be considered as the objective of major importance for soil structure improvement in agricultural practices.

- (c) The Vertisol under the conventional tillage system had better structure than under zero tillage. In contrast, the Andosol structure was better under zero tillage. When traditional methods of soil physical properties studying were used, the same conclusions were obtained (Oleschko and Chapa, 1989; Cabrera y Oleschko, 1989).
- (d) The USI allowed the quantification of each of the soil structure parameters and their influence on the degree of soil structure development. In this way, it is possible to recommend practices leading to the improvement of the most troubled property. Using USI the soil structural dynamics may be studied not only under different tillage systems, but also under differences in soil moisture or of any other external factors.

REFERENCES

- AGRICULTURAL ENGINEER YEARBOOK OF STANDARD (ASAE). 1978. Method of determining and expressing fineness of feed materials by sieving, 325-326.
- BRAUNACK, M.V. and A.R. DEXTER. 1988. The effect of aggregate size in the seedbed on surface crusting and growth and yield of wheat (*Triticum aestivum* L., c.v. Halberd) Under dryland condition. Soil Tillage Research 11: 133-145.
- BURKE, W., D. GABRIELS, J. BOUMA. (Editors). 1986. Soil structure Assessment. A.A. Balkema/Rotterdam/Boston, 92 pp.
- CABRERA, C.F. y K. OLESCHKO. 1989. Dinámica de la densidad aparente, volumen y porosidad total del Vertisol pélico y Andosol mólico con humedad. Agrocienia, Agrocienia 1-1: 75-89.
- CHEPIL, W.S. 1958. Soil conditions that influence wind erosion. Tech. Bull N1185, USDA. US Government Printing Office, Washington, D.C.
- DEXTER, A.R. 1976. Internal structure of tilled soil. J. Soil Sci., 27: 267-278.
- FOX, W.E. 1964. A study of bulk density and water in a swelling soil. J. Soil Sci. 98: 307-316.
- GUPTA, S.C. and W.E. LARSON. 1979. A model for predicting packing density of soils using particle size distribution. Soil Sci. Soc. Am. J. 43: 758-764.
- HADAS, A. and D. WOLF. 1984. Refinement and re-evaluation of the drop shatter soil fragmentation method. Soil Tillage Res., 4: 237-249.
- HAVERKAMP, R. and J.Y. PARLANGE. 1986. Predicting the water-retention curve from particle-size distribution: 1. Sandy soil without organic matter. Soil Sci. Soc. Am. J., 142(6): 325-339.
- HUDSON, N. 1971. Soil conservation. Cornell University Press. New York.
- KACHINSKY, N.A. 1965. Soil physics. Moscú, Vysshaya Shkola, 322 p.p. (In Russian).
- KAURICHEV, I. 1984. Prácticas de Edafología, Moscú, Ed. Mir. 280 pp.
- MORIN, J., D. GOLDBERG, and I. SEGNER. 1967. A rainfall simulator with a rotating disk. Transactions of the ASAE 10(1): 74-77, 79.

OLESCHKO, K.P. and CHAPA, J.R. 1989. Structural dynamics of a mollic Andosol of Mexico under tillage. *Soil Tillage Research* 15: 25-40.

SOIL SURVEY STAFF. 1975. Soil taxonomy a basic system of soil classification for making and interpreting soil surveys. USDA-SCC. Agric. Handb. 436, U.S. Government Printing Office, Washington, D.C.

TISDALL, J.M. and J.M. OADES. 1982. Organic matter and water stable aggregates in soils. *J. Soil Sci.*, 33: 141-163.

WISCHMEIER, W.H. and D.D. SMITH. 1978. Predicting rainfall erosion losses-a guide to conservation planning. U.S. Dept of Agriculture. Agriculture Handbook No. 537.

ACUMULACION DE METALES PESADOS EN UN SUELO REGADO CON AGUAS RESIDUALES

Accumulation of Heavy Metals in a Soil
Irrigated with Wastewater

Rogelio Carrillo G.¹, L. J. Cajuste¹ y L. Hernández H.²

¹Centro de Edafología, Colegio de Postgraduados,
56230 Montecillo, Méx.

²Ingeniería de Riego y Drenaje, Distrito de Desarrollo Rural 063,
SARH, Mixquiahuala, Hgo.

Palabras clave: Pb, Cr, Cd, Cu, Mn,
Contaminación de suelos.

Index words: Pb, Cr, Cd, Cu, Mn, Soil
pollution.

RESUMEN

Las aguas residuales usadas para riego en el Valle del Mezquital introducen al suelo metales pesados entre otros contaminantes. En la actualidad se tiene poca información sobre la dinámica de los mismos y sobre su distribución en las parcelas, por lo que en este trabajo se tuvo en observación, durante 1989 y 1990, un suelo irrigado con agua residual. Se encontró que en el agua de riego las concentraciones de Cd (13-14 $\mu\text{g/l}$) superan los límites permisibles recomendados por la legislación mexicana para aguas de reuso agrícola y los establecidos por la Environmental Protection Agency de los Estados Unidos de Norteamérica para agua de riego. En el sitio de entrada del agua al lote experimental, la concentración de los metales

Pb, Cr, Cd, Ni, Cu, Mn y Zn determinados por el método de HNO_3 4M fue del orden de: 242 ± 4 ; 94 ± 6 ; 3 ± 0.15 ; 4 ± 0.3 ; 70 ± 10 ; 485 ± 4 y 133 ± 19 mg/kg, respectivamente. Esas concentraciones, así como las de los metales extractables con DTPA, son hasta diez veces más altas o al menos duplican el nivel observado en el resto de los puntos muestreados de la superficie del terreno. Las concentraciones del Cr y Pb en tejido vegetal (*Avena sativa* L.) están por arriba del intervalo considerado como normal por Chaney (1983), sin ser aparentemente fitotóxicas, y el Co alcanza niveles que pueden ser dañinos a la planta.

SUMMARY

The wastewater used to irrigate croplands in the Mexican Valley of Mezquital has deposited, through the years, substantial amounts of heavy metals and other contaminants on the soil. However, little knowledge about their behavior and their distribution in the fields is available. The objective of the present study was to examine the distribution pattern of some heavy metals in a plot irrigated with municipal wastewater during the period of 1989-1990. In the wastewater the

Recibido 5-91.

concentrations of cadmium were 13-14 $\mu\text{g/l}$. The concentration of Cd greatly exceeded the tolerance limit from the Mexican law regulations irrigation waters and the permissible limit recommended by the Environmental Protection Agency of the United States. In the site where the wastewater enters the plot, the concentrations of Pb, Cr, Cd, Ni, Cu, Mn and Zn as determined according to the 4M HNO_3 procedure were: 242 ± 4 ; 94 ± 6 ; 3 ± 0.15 ; 4 ± 0.3 ; 70 ± 10 ; 485 ± 4 and 133 ± 19 mg/kg respectively. In this site, the concentration of DTPA extractable metals were up to ten times or at least twice their concentrations in other sampling sites of the same plot. In the oats leaf tissues (*Avena sativa* L.) the Cr, and Pb contents were above the normal range of plant concentration suggested by Chaney (1983), but apparently not phytotoxic, and Co was high and could pose harmful to plants.

INTRODUCCION

El uso de las aguas residuales en terrenos agrícolas es una práctica inevitable en regiones como el Valle del Mezquital, donde la escasa precipitación de apenas 502 mm en promedio anual, es el principal factor limitante de la producción. Además, su utilización está en aumento continuo en el país, debido a que cada vez se genera más agua residual en los asentamientos urbanos, como ocurre en la Cd. de México, cuyas aguas residuales se usan para riego en los valles cercanos. Dichas aguas acarrearán elementos útiles para las plantas como son nitrógeno, fósforo y potasio que tienen un efecto benéfico para su desarrollo y reducen los costos de producción. Sin embargo, su uso sin ningún tratamiento previo, las convierte en una fuente potencial de contaminación de suelo por metales pesados (Tiller, 1989) y para las plantas que en él crecen (Mattigod y Page, 1983; Schirado *et al.*, 1986), introduciéndose a través de esos cultivos a la cadena trófica (Macnicol y Beckett, 1985).

Cuadra (1981) menciona que los primeros estudios sobre la composición química del agua usada para riego en el Distrito 063, estado de Hidalgo, datan de 1964 y reporta los primeros problemas de toxicidad con boro debido a su introducción al suelo con el agua de riego. Mascareño (1974) observó en el mismo distrito, que las aguas residuales aportaban metales pesados al suelo, y detectó presencia de As, Al, Hg y Pb en tejidos vegetales, así como elevados niveles de Cu, Fe y Zn. Mendoza (1981) señaló que las concentraciones de As, B, Cd, Cu, Cr, Fe, Mn y Mo del agua residual que llega al Valle del Mezquital, sobrepasan los niveles permisibles recomendados por la EPA (US-EPA, 1973) para el agua de uso continuo en irrigación. Méndez y Guajardo (1985) también señalan esta problemática. García *et al.* (1988) observaron además, elevadas concentraciones de Pb, Cr, y Cd en tejidos vegetales, principalmente en especies desarrolladas en suelos regados con estas aguas por largo tiempo. Mejía *et al.* (1990) señalan que las concentraciones de Ni, Cd y Co en alfalfa y maíz son superiores a las reportadas como normales.

Respecto a la distribución de los metales pesados, Cajuste *et al.* (1991) observaron una mayor acumulación de metales en suelos irrigados con aguas negras, en comparación con los niveles encontrados en suelos regados con mezclas de aguas residuales y aguas de escorrentía.

Dentro del perfil, Flores *et al.* (1990) y Mejía *et al.* (1990) observaron que los metales introducidos con el agua de riego se acumulan principalmente en la capa arable, disminuyendo su concentración conforme aumenta la profundidad del perfil y señalan que los niveles de metales pesados en el suelo (0 a 14 cm) están dentro de las concentraciones consideradas por Bohn (1985) como normales, con excepción del Cd que en dos sitios de los 29 estudiados, su concentración llega a 7.9 ppm. Aunque se cuenta con trabajos que hacen evidente el problema de contaminación de suelos, aguas y plantas en esta área, se

tienen pocos conocimientos sobre la dinámica de los mismos al ingresar al suelo, como es su distribución horizontal en las parcelas y si la depositación es uniforme. Por lo que el objetivo de este trabajo fue observar la variación horizontal en las concentraciones de metales en un predio irrigado con agua residual.

MATERIALES Y METODOS

Este estudio se realizó en un predio localizado en la colonia El Jardín, municipio Progreso, estado de Hidalgo, en el Valle del Mezquital. La parcela en observación ha sido irrigada continuamente desde hace aproximadamente 15 años con agua residual mezclada (supuestamente 50% de agua negra del canal Xochitlán + 50% de agua de escorrentía procedente de la presa Requena, pero sin control riguroso en las proporciones de la mezcla). Los sitios de muestreo fueron ubicados: en la entrada del agua a la parcela (SE); en la parte media de la misma (SM) y en el extremo donde el agua del sobre-riego sale al dren (SS). En estos sitios se obtuvieron muestras compuestas de suelo a una profundidad de 0-25 cm, durante los meses de marzo, agosto y diciembre de 1989 y marzo y agosto de 1990 y de tejido vegetal de *A. sativa* L. (hojas y tallo). Se colectaron muestras compuestas de agua (alícuotas de 100 ml para completar 2 litros) en el canal de abastecimiento durante los meses de marzo, agosto y diciembre de 1989 y enero, marzo y agosto de 1990. Se seleccionó otra parcela de muestreo como sitio de comparación "testigo", el cual se ubicó a varios kilómetros al este de la primera parcela, en un área regada con agua de pozo profundo (agua blanca).

Las muestras de suelo fueron secadas al aire, homogeneizadas y tamizadas en una malla de plástico de 2 mm de abertura. El tejido vegetal se secó a 70°C por 48 horas y fue pulverizado en un molino de porcelana. Las muestras de agua se trataron con HNO₃ concentrado al momento de su colección para preservarlas hasta su análisis. El suelo fue

caracterizado por los procesos analíticos convencionales (Black, 1965). Las formas disponibles de los metales traza se determinaron usando el método de extracción con DTPA-TEA-CaCl₂ (Lindsay y Norvell, 1978) y se usó la digestión con HNO₃ 4N (Bradford *et al.*, 1975) para los metales adsorbidos y fijados, que de acuerdo con estos autores, se pueden considerar como casi-totales. Para la determinación de metales pesados en los tejidos vegetales, las muestras fueron digeridas con mezclas (1:4) de HClO₄-H₂SO₄ (Tserling, 1969). Las muestras de agua obtenidas del canal de riego, se procesaron conforme a las técnicas propuestas por la US-EPA (1974). Todos los metales fueron cuantificados por espectrofotometría de absorción atómica, usando un equipo Perkin Elmer 373. Así mismo se utilizó agua desionizada con una resistencia superior a los 10 megaohms.

RESULTADOS Y DISCUSION

La concentración de los metales en el agua residual (AR), en las diferentes fechas de muestreo, fue muy variable, como se observa en la Figura 1. Los metales que presentaron mayor variación fueron el Ni, el Cd, el Mn y el Zn. Aunque no se colectó agua en todos los meses del año, no se observó relación entre la concentración de los metales determinados en el agua y la estación del año, pues se esperaba que en invierno dicha concentración fuera mayor; esto quizá se deba a que la mezcla que se hace de agua negra con agua de escorrentía, no es consistente durante todas las estaciones del año. Al comparar con los niveles detectados en el agua de pozo (AP) aplicada en el sitio testigo, se observa claramente (Cuadro 1) que todos los metales determinados en AR superan en más de diez veces su concentración, por ejemplo para el caso del Pb, la concentración en AR fue de 40 a 52 g/l, mientras que en AP fue menor de 0.005 g/l. Respecto a los límites establecidos por el reglamento para la prevención y control de la contaminación de aguas en México, los niveles de Cd determinados en AR, superan lo establecido en

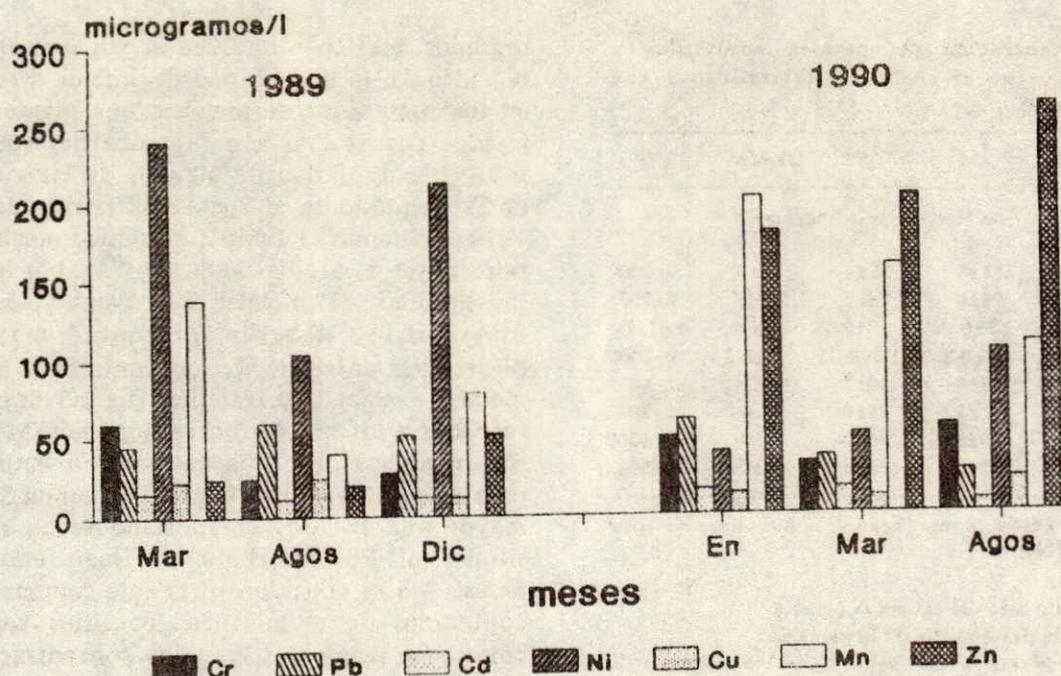


Figura 1. Contenido de metales en aguas residuales usadas para riego, en la parcela en observación.

Cuadro 1. Concentración de metales en agua mezclada (agua negra y agua de escorrentía), en agua de pozo (blanca) usada para riego y los límites permisibles de metales en agua.

Elemento	Agua		Nivel Permissible		
	Mesclada ¹⁾		Blanca	a	b
	1989	1990			
	g/l		mg/l		
Cr	37±16	46±11	2.5	5	1
Pb	52±6	40±17	≤0.005	5	5
Cd	13±3.5	14±5	≤0.01	0.005	0.01
Ni	212±28	64±34	≤0.01	--	0.5
Co	Ts	2±1.6	≤0.001	--	0.2
Cu	19±6.5	15±6	≤0.001	1	0.2
Mn	85±49	156±47	≤0.002	--	0.2
Zn	32±17	215±41	≤2.0	--	5

1) Promedio de 3 muestreos.

a SEDUE-SARH, 1987.

b US-EPA. 1973 (En aguas de uso continuo para irrigación).

Ts Trasas.

dicho reglamento para aguas de reuso agrícola, lo mismo ocurre, al comparar con las recomendaciones de la US-EPA (1973) para aguas de uso continuo en irrigación.

En los análisis de suelo, se observa claramente en el Cuadro 2, que ha habido una acumulación de Cr, Pb, Cd, Cu, Mn y Zn adsorbidos y fijados en SE, mientras que la concentración de Cd, en SM y SS fue similar. Los metales Zn, Cr, Pb, Cu y Mn, fueron los que presentaron mayor diferencia en su concentración entre los tres sitios, pero no de la forma esperada, pues el comportamiento que su concentración debería tener, hipotéticamente, es como sigue SE >> SM > SS, sin embargo, los niveles en SM fueron similares a lo observado en SS, esto se atribuye a que la cantidad de agua que reciben los sitios posiblemente sea similar, mientras que en SE hay mayor recepción de agua y por tanto de sedimentos, ya que el riego es por

Cuadro 2. Concentración de metales adsorbidos y fijados en el suelos¹⁾, determinados con HNO₃N.

Elemento	SE	SM	SS	Testigo	N
----- mg/kg -----					
Cr	94±6	35±5	37±1	Ts	5-3000
Pb	242±4	58±6	74±7	24±5	2-200
Cd	3±0.5	1.5±0.04	2±0.08	Ts	0.01-7
Ni	4±0.3	2.5±0.3	1.8±0.03	1±0.2	10-1000
Co	18±1.6	16±3	20±3	13±1	1-40
Cu	70±10	17±1.6	25±6	12±0.3	2-200
Mn	485±4	189±12	280±3	45±9	100-4000
Zn	133±19	32±4	38±3	13±1	10-300

N = Concentración considerada como normal por Allaway, 1968.

Ts = Trazas.

SE = Suelo de entrada del agua a la parcela.

SM = Suelo de la parte media de la parcela.

SS = Suelo de la salida del agua de sobre-riego de la parcela.

1) = Promedio de 6 determinaciones.

gravidad. Al comparar los metales determinados en el testigo con las concentraciones presentes en SE se observa que en este último, los niveles de Cr, Pb, Cd, y Zn fueron diez veces más altos. En los tres sitios muestreados, la concentración de los metales está dentro de los niveles que Allaway (1968) reporta como normales, a excepción del Pb en SE, que excede tales valores. De acuerdo con Kabata-Pendias y Pendias (1986), de todos los metales analizados en la parcela objeto de estudio únicamente el Cu y el Cd alcanzan niveles que pueden considerarse potencialmente dañinos (70 ± 10 y 3 ± 0.5 mg/kg, respectivamente).

De los metales extraídos con DTPA-TEA-CaCl₂, el Cr se comportó de manera diferente a lo esperado, pues en los dos ciclos de cultivo (1989 y 1990) su concentración en SE y SS fue mayor que en SM (Cuadro 3), esto puede atribuirse, por una parte, a que en los dos primeros sitios el contenido de materia

orgánica, arcilla y limo fue mayor que en SM (Cuadro 4), lo que ha podido influir a su vez en los contenidos de metales, que pueden ser fijados por la fracción orgánica del suelo y sobre la solubilidad de algunos de ellos como el Cr introducido al suelo (Bartlett y James, 1979). Además el análisis mecánico mostró un porcentaje de arcilla menor en SM, por lo que la cantidad de metales intercambiables, en estos sitios, deberán presentar mayores diferencias entre sí. La concentración de los metales extractables restantes fue mayor en SE respecto a los niveles observados en SM y en SS, en ambos ciclos de cultivo, sin embargo, para el caso del Pb su concentración en SS fue mayor que en SM, comportándose en forma similar al Pb adsorbido y fijado en estos sitios. No se consideró prudente comparar los contenidos de metales en los sitios regados con aguas residuales, con las concentraciones observadas en la parcela testigo, debido a las diferencias en el contenido de materia orgánica y en el análisis mecánico, sin embargo, los niveles encontrados en el testigo dan una idea de la acumulación que ha habido en el suelo a causa del uso de las aguas residuales. En el tejido vegetal no se observan grandes diferencias en el contenido de los metales analizados, respecto a su ubicación en la parcela, pues únicamente en el caso del Cr, la mayor concentración en tejido vegetal se presentó en SE, disminuyendo en SM y en SS en ambos ciclos de cultivo (Cuadro 5). Esto se atribuye a que el pH del suelo (superior a 7.9) favorece la oxidación de Cr <III> a Cr <VI> que es muy soluble y fácilmente traslocable a la planta. Las concentraciones de Cr, Pb y Co en las muestras de avena proveniente de SE, SM y SS están por arriba del intervalo que Chaney (1983) considera como normal, ocurriendo lo mismo para el Ni en las plantas muestreadas en el ciclo 1990, en SE. Según este autor, los niveles fitotóxicos del Cr, Cd, Ni y Co son: 20, 5-700, 50-100 y 25-100 mg/kg correspondientemente y para el Pb el intervalo reportado como fitotóxico por Davis *et al.* (1978) es de 30 a 300 mg/kg, por lo que solamente en el caso del Co pudiera llegar a causar toxicidad en la planta. El cultivo presentó clorosis durante su desarrollo, en la

Cuadro 3. Concentración en el suelo de metales extraídos¹⁾ con DTPA-TEA-CaCl₂ (cultivos de invierno 1989 y 1990).

Elemento	SE		SM		SS		Testigo	
	'89	'90	'89	'90	'89	'90	'89	'90
	----- mg/kg -----							
Cr	0.4	0.4	0.2	0.2	0.4	0.4	Tz	Tz
Pb	10.0	12.0	2.0	2.0	5.0	3.0	0.3	0.3
Cd	1.0	1.0	0.6	0.5	0.4	0.4	0.06	0.1
Ni	0.5	0.5	0.2	0.3	0.1	0.1	0.09	0.03
Co	2.0	2.5	1.0	1.0	2.0	1.0	0.6	0.5
Cu	18.0	14.0	3.0	2.0	4.0	3.0	0.5	0.6
Mn	24.0	15.0	20.0	8.0	18.0	8.0	2.5	2.0
Zn	26.0	20.0	4.0	3.0	8.0	6.0	0.3	0.5

Tz = Trazas.

SE = Suelo de entrada del agua a la parcela.

SM = Suelo de la parte media de la parcela.

SS = Suelo de la salida del agua de sobre-riego de la parcela.

1) = Promedio de 6 determinaciones.

Cuadro 4. Características de los sitios de muestreo de las parcelas en observación.

Característica	SE	SM	SS	Testigo
pH	8.2	7.9	7.9	8.2
CE	0.8	0.6	0.6	0.5
MO %	4.7	3.6	5.8	0.7
P ppm	90.0	62.0	95.0	3.0
Arena %	49.0	67.0	59.0	61.0
Arcilla %	29.0	19.0	24.0	21.0
Limo %	22.0	14.0	18.0	18.0
Ca ppm	7238	6693	5993	3736
Mg ppm	666	755	991	661

Tz = Trazas.

SE = Suelo de entrada del agua a la parcela.

SM = Suelo de la parte media de la parcela.

SS = Suelo de la salida del agua de sobre-riego de la parcela.

fase de maduración, ésta se acentuó y aparecieron manchas pardas y necróticas en las hojas, sin embargo, no es posible asegurar que esto sea efecto de la absorción de los metales.

CONCLUSIONES

De lo anterior se puede concluir que los metales introducidos a la parcela con el agua residual, tienden a acumularse en el área donde el agua entra a la parcela, disminuyendo su concentración hacia el extremo donde el agua sale al canal de drenaje. La mayor proporción de metales (del 66 al 99%) se encuentran en forma adsorbida y están fijados

Cuadro 5. Concentración de metales pesados en tejido de *Avena sativa* L. (cultivos de invierno 1989 y 1990).

Elemento	SE		SM		SS		Testigo		N
	'89	'90	'89	'90	'89	'90	'89	'90	
	----- mg/kg -----								
Cr	6.5	4.0	3.5	1.5	2.5	1.5	0.1	0.1	0.1-1
Pb	17.0	8.0	17.0	8.5	17.0	7.0	0.5	0.001	2 -5
Cd	0.75	0.5	0.7	0.5	0.8	0.5	0.02	0.04	0.1-1
Ni	4.0	8.6	4.0	2.0	2.0	2.5	0.5	0.6	0.1-5
Co	33.0	9.0	15.0	17.0	30.0	10.0	2.4	2.3	0.1-0.3
Cu	9.0	7.0	8.0	9.0	6.0	7.0	10.0	11.0	2 -20
Mn	14.0	35.0	13.0	57.0	16.0	45.0	5.9	7.0	15 -150
Zn	105.0	91.0	205.0	98.0	92.0	70.0	85.0	99.0	15 -150

N = Concentración normal según Chaney, 1983.

SE = Suelo de entrada del agua a la parcela.

SM = Suelo de la parte media de la parcela.

SS = Suelo de la salida del agua de sobre-riego de la parcela.

en el suelo. Las concentraciones de Cr y Pb en *Avena sativa* L. son mayores que las propuestas por Chaney (1983) como normales, sin ser aparentemente fitotóxicas, sólo el Co alcanza los niveles que pueden ser dañinos a la planta.

LITERATURA CITADA

- ALLAWAY, W.H. 1968. Agronomic controls environmental cycling of trace elements. *Adv. Agron.* 20: 235-274.
- BARTLETT, R.J. y B. JAMES. 1979. Behavior of chromium III in soils. *Oxidation. J. Environ. Qual.* 8: 31-35.
- BLACK, C.A. (ed.). 1965. Methods of soil analysis. Part 2. *Agronomy No. 9*, American Society of Agronomy. Madison, Wisconsin.
- BOHN, H.L., B.L. MCNEAL y G.A. O'CONNOR. 1985. *Soil chemistry*. John Wiley and Sons. New York.
- BRADFORD, G.R., A.L. PAGE, L.J. LUND y W. OLMESTEAD. 1975. Trace element concentrations of sewage treatment plant effluents and sludges: their interactions with soils and uptake by plants. *J. Environ. Qual.* 4: 123-127.
- CAJUSTE, L.J., R. CARRILLO, G., E. COTA G. y R.J. LAIRD. 1991. The distribution of metals from wastewater in the Mexican Valley of Mezquital. *Water, Air and Soil Pollution.* 57-58: 673-771.
- CHANEY, R.L. 1983. Potential effects of waste constituents on the food chain. pp. 152-240. *In: J.F. Parr et al.* (eds) *Land treatment of hazardous wastes*. Noyes Data Corp. Dark Ridge, N.Y.
- CUADRA, M.J. 1981. Agricultural land irrigation with wastewater in the Mezquital Valley. pp. 217-248. *In: D'Itri, F.M. y N. M. Atthié.* 1981. *Municipal wastewater in agriculture*. Academic Press, New York.
- DAVIS, R.D., P.H.T. BECKETT y E. WOLLAN. 1978. Critical level of twenty potential toxic elements in young spring barley. *Plant Soil* 49: 395-399.
- FLORES, D.L., G. HERNANDEZ S., M. MEJIA B., R. ALCALA, M. y S. SANCHEZ, B. 1990. Algunos metales pesados en suelos regados con aguas residuales. I. Simposio Nal. Degradación del Suelo. Instituto de Geología. UNAM.
- GARCIA, Z.A.M., L. CAJUSTE J. y J. CRUZ, D. 1988. Estudio del grado de contaminación por plomo, cadmio y cromo, en suelos y tejidos vegetales por el uso de aguas residuales en los Municipios de Tlaxcoapan, Tlathuelilpan y Atitalaquía, Hgo. pp. 78. *In: Santelises, A.A. y J. Baus P.* 1988. *Memorias XXI Congreso Nac. Ciencia del Suelo*. Cd. Juárez, Chih.
- KABATA-PENDIAS, A. y PENDIAS H. 1986. *Trace elements in soils and plants*. vol. I. CRC. Press, Inc. Boca Ratón. Florida, USA.
- LINDSAY, W.L. y W.A. NORVELL. 1978. Development of a DTPA soil zinc, iron, manganese and copper. *J. Am. Sci. Soil* 42: 421-428.
- MACNICOL, R.D. y P.H.T. BECKETT. 1985. Critical tissues concentrations of potentially toxic elements. *Plant and Soil.* 85: 107-129.
- MASCAREÑO, C.F. 1974. Estudio preliminar sobre contaminación de los suelos y de la producción agrícola en el Distrito de riego 003, por el uso de aguas negras de la Ciudad de México. Tesis de Maestro en Ciencias. Colegio de Postgraduados, Chapingo, México.
- MATTIGOD, S.V. y A.L. PAGE. 1983. Assesment of metal pollution in soils. pp. 335-394. *In: J. Thornton,* (ed). *Applied environmental geochemistry*. Academic Press, London.

MEJIA, B.M., SANCHEZ, S., G. HERNANDEZ, S., L. FLORES, D., G. VILLAREAL, L., y R. GUAJARDO, V. 1990. Metales pesados en maíz (*Zea mays* L.) y alfalfa (*Medicago sativa* L.) y su correlación con los extractables en suelos del DDR 063, Hgo. I. Simposio Nal. Degradación del Suelo Instituto de Geología. UNAM.

MENDEZ, G.T. y R. GUAJARDO, V. 1985. Contaminación de las aguas negras de la Ciudad de México por boro, ABS y metales pesados. *TERRA* 3: 3-6.

MENDOZA, M.H. 1981. Land treatment: A viable solution for management of wastewater in the Metropolitan area of the Valley of México. pp. 163-194. *In: D'Itri F.M. y N.M. Atthié. 1981. Municipal wastewater in agriculture. Academic Press, New York.*

SEDUE. 1987. Normas Oficiales Mexicanas para la protección del medio. p. 13. ECOTEC-87, SEDUE. México.

SCHIRADO, T., I. VERGAR, E.B. SHALSCHA y P.T. PRATT. 1986. Evidence for movement of heavy metals in soils irrigated with untreated waste water *J. Environ. Qual.* 15(1): 9-12.

SURKUNAN, V., A. K. MISRA y P.K. NAYAR. 1989. Interaction of zinc, copper and nickel in soil on yield and metal content in rice. *J. Environ. Sci. Health.* A24: 459-466.

TILLER, K.G. 1989. Heavy metals in soils and their environmental significance. *Adv. Soil Sci.* 9: 113-141.

TSERLING, V.V. 1969. Diagnosis of nutrition of plants. pp. 706-709. *In: "Agrochemical methods in study of soils. Dokuchaev Inst. of Soil Sci. Academy of Sci. of the URSS. Translate from Russian.*

US-EPA. 1973. Water quality criteria. EPA. Re/73-033, 197. U.S. Environmental Protection Agency. Washington, D.C.

US-EPA. 1974. Methods for chemical analysis of water and wastes. EPA-/6-74.003 US. Environ. Protection Agency. Washington, D.C.

RESPUESTA DEL MANZANO (*Malus pumila* Mill) A DIFERENTES NIVELES DE HUMEDAD EN EL SUELO

The Answers From the Apples (*Malus pumila* Mill) at Different Levels of Humidity in the Soil

Jesús Pilar Amado Alvarez

M.I. Enc. Prog. U.M.A. CESICH-CIFAP Norte Centro
Cd. Cuauhtémoc, Chih.

Palabras clave: Evapotranspiración potencial, Evapotranspiración real en manzano, Eficiencia en el aprovechamiento del agua.

Index words: Potential evapotranspiration, Real evapotranspiration in apple orchards, Efficient water utilization.

RESUMEN

Durante 1986 se inició un trabajo de campo con el objeto principal de obtener la función de producción del manzano (kg de fruta vs agua evapotranspirada) y diferentes alternativas que aumenten la eficiencia en el aprovechamiento del agua de riego de la región. El estudio se llevó a cabo en un huerto de 18 años de edad con el cultivar Golden Delicious sobre portainjerto franco; plantado sobre una textura migajón arcillo-arenoso y de pH neutro. Se establecieron tres tratamientos con base en diferentes cantidades de evaporación registradas en un tanque tipo "A" y un testigo con tres repeticiones, distribuidos en un diseño completamente al azar.

Los resultados obtenidos indican que la evapotranspiración potencial de marzo a septiembre fue de 102.7 cm; la evapotranspiración real (Etr) para el tratamiento húmedo fue de 88.36 cm, con un eficiencia de 2.41 kg de fruta por m³ de agua utilizado. El tratamiento intermedio reportó 77.53 cm produciendo en promedio 187.8 kg de manzana por árbol con una eficiencia de 5.0 kg de fruta/m³ de agua usada, considerando este tratamiento como la mejor alternativa de riego. En el tratamiento más seco se cuantificaron 56.8 cm de Etr y una eficiencia de 2.9 kg de fruta/m³ de agua utilizada. Finalmente el tratamiento testigo tuvo una Etr de 56.62 cm y una eficiencia de 3.82 kg de fruta/m³ de agua. Basados en las funciones desarrolladas podemos decir que se necesitan evapotranspirar como mínimo 90 cm de agua para tener crecimientos vegetativos adecuados (25 cm) y frutos de buen tamaño (7.0 cm de diámetro ecuatorial). Para producir un kg de manzana por árbol se requiere una Etr mínima de 40 cm. El mayor rendimiento (170 kg árbol⁻¹) se produjo cuando se evapotranspiraron 70 cm.

SUMMARY

In 1986 an apple production experiment was initiated to determine the kg of apples

Recibido 03-91.

produced in comparison to the water evapotranspired and the different alternatives that increase the efficiency of irrigation water utilization in this region. The study was carried out in a 18 year old Golden Delicious apple orchard, with standard rootstocks, planted on crumb sandy clay soil with a pH of 7.0. The complete randomized block experiment with four repetitions consisted of three different registered evaporation gradients and a check.

The results obtained indicated that the potential evapotranspiration from March to September was 102.7 cm; the real evapotranspiration (Etr) was 88.36 cm for the treatment with the most water, with an efficiency of 2.41 kg of fruit per each cubic meter of water used. The intermediate treatment indicated 77.53 cm produced an average of 187.8 kg of fruit per tree with an efficiency of 5.0 kg of fruit per cubic meter of water used; this treatment was considered the best irrigation alternative. In the dirst treatment the Etr was 56.8 cm and 2.9 kg of fruit was produced per every cubic meter of water used. The check treatment had an Etr of 56.62 cm and an efficiency of 3.8 kg of fruit per cubic meter of water. Based on the developed functions, we can say that a minimum of 90 cm evapotranspiration is necessary in order to have adequate vegetative growth (25 cm) and good sized fruit (7.0 cm in diameter). To produce one kg of apples per tree at least 40 cm Etr is necessary. The best yield (170 kg per tree) was obtained with 70 cm of Etr.

INTRODUCCION

En el país existen 76,000 ha plantadas con manzano, de las cuales se obtiene una producción media de 7.0 ton ha⁻¹ año⁻¹ (CONAFRUT-SARH, 1989). De esta superficie aproximadamente el 31% se localiza en el estado de Chihuahua, donde el factor más importante que está limitando la producción de esta especie es la disponibilidad y aprovechamiento del agua de riego. UNIFRUT (1985) indicó que el municipio de Bachíniva cuenta con 78 pozos profundos, los cuales

derivan un gasto promedio de 2984 litros por segundo más 6.5 millones de m³ de almacenamiento medio anual en la presa "Las Chepas" para irrigar 707,400 árboles de manzano plantados en 3,338 ha; cantidades que sirven para aplicar solamente de un 43 a un 65% de los requerimientos hídricos del manzano (112 cm según Amado, 1985). Esta situación influye directamente en la calidad y cantidad de la fruta producida, puesto que todas las plantas están compuestas principalmente de agua, las células vegetativas se componen en un 85 a 95% de este recurso el cual se encuentra formando hidratos de carbono, lípidos, proteínas, metabolitos, catabolitos y sales diversas entre otros; sin embargo, las necesidades de agua varían con el clima y con las especies, debido a un efecto netamente físico donde el agua se evapora de las hojas a través de los estomas. En el caso del manzano, Rojas y Rovalo (1985) reportan 400 estomas/mm² de hojas.

Por otro lado, Kotzé (1984) señala que cuando la planta está sujeta a estrés de humedad, los estomas se cierran y el CO₂ requerido para llevar a cabo la fotosíntesis y formar los carbohidratos repercutiendo en el crecimiento. En manzano el aumento en el tamaño del fruto depende principalmente de la división celular dentro del primer mes de desarrollo, después toma importancia el alargamiento celular; según Deloye (1967) cuando hay un déficit hídrico durante el alargamiento celular los daños ocasionados son mayores que cuando se presenta en la división celular.

Esta panorámica muestra la importancia de conocer más de cerca los efectos causados por los fruticultores al aplicar el agua al manzano en forma deficiente. El objetivo principal del presente trabajo fue el de obtener la función de producción (kg de fruta vs agua evapotranspirada) y diferentes alternativas de riego que se adecuen a la capacidad acuífera de la región para aprovechar eficientemente el agua de riego.

REVISION DE LITERATURA

Denmead y Shaw (1960) hicieron un trabajo donde relacionaron el rendimiento del cultivo y los cambios de humedad en el suelo, encontrando que el efecto de regímenes diferentes de humedad del suelo en diferentes etapas fenológicas del cultivo en el rendimiento expresado como fruto es muy notorio.

Palacios y Martínez (1978) mencionan que el rendimiento de un cultivo depende de muchos factores variables, algunos controlables como la preparación del suelo, la fertilización y el riego, otros particularmente controlables como algunas plagas y enfermedades y otros no controlables como son los factores atmosféricos. También comentan que controlando los factores variables se puede considerar que el rendimiento de un cultivo depende solamente de la cantidad de agua evapotranspirada expresada mediante una función de producción.

Palacios (1984) cita la relación entre la materia seca con la evapotranspiración (Et) registrando que el máximo rendimiento corresponde a la máxima Et; sin embargo, al tratar los cultivos no forrajeros (árboles frutales, caña de azúcar, etc.) el máximo rendimiento no coincide con la máxima Et concluyendo que la respuesta de las plantas en rendimiento de fruto o variaciones de la disponibilidad de agua no es lineal.

Escobasa y Palacios (1984) construyeron una función de respuesta en grano y proteína del cultivo del trigo, en función de diferentes niveles de humedad residual del suelo en distintas etapas de su ciclo vegetativo. El resultado final mostró que el rendimiento máximo de grano se obtiene cuando la tensión del agua en el suelo alcanza 3.42; 1.38 y 1.81 atmósferas en las etapas vegetativas, floración y maduración, respectivamente. Para rendimiento de proteína, los valores de tensión óptimos son: 5.20, 1.29 y 2.08 atmósferas para las mismas etapas.

Palacios (1982) ha desarrollado trabajos en cultivos como frijol, trigo, maíz y caña de azúcar, con el objeto de obtener la respuesta del cultivo a regímenes variables de la humedad del suelo. Los resultados obtenidos en trabajos de trigo, frijol y maíz muestran una clara relación lineal entre la producción de materia seca y el agua evapotranspirada. De la primera función se deduce que por cada cm evapotranspirado se producen 118 kg de materia seca de trigo. De la segunda y tercera función reportan datos similares para frijol y maíz; sin embargo, comenta que si se considera el rendimiento en grano en lugar de materia seca, la relación obtenida no es, lineal. En relación a la caña de azúcar la evapotranspiración máxima fue de 240 cm durante todo el año, equivalentes a 1.3 veces la lámina evaporada en el evaporímetro tipo A.

MATERIALES Y METODOS

Ubicación del Experimento.

El trabajo de campo se inició en marzo de 1986 en un huerto de manzano de 18 años de edad ubicado en la localidad de San José, municipio de Bachíniva, Chihuahua a una altura de 2020 msnm, paralelo 28°48' latitud norte y el meridiano 107°15' longitud oeste del meridiano de Greenwich. El clima según la clasificación de Köppen modificada por García (1964) es semi seco frío (Bs, Kw). La precipitación pluvial media es de 450 milímetros. La variedad es Golden Delicious/Franco plantados en marco real a 7.0 m en un suelo con textura migajón arcillo arenosa y un perfil de suelo mayor a 1.0 m de profundidad.

Diseño Experimental.

Se utilizó un diseño completamente al azar con cuatro tratamientos y tres repeticiones. Los tratamientos establecidos fueron con base en diferentes cantidades de evaporación registrados en un tanque tipo "A" (registrando además el % de humedad del suelo, usando el

método gravimétrico). T_1 = Riegos cuando se evaporaron 180 mm, T_2 = Riegos cada 360 mm de E_0 , T_3 = riegos cada 720 mm de E_0 y T_4 = testigo (con el criterio del productor).

Muestreo de Suelos.

Se tomaron muestras de suelo a tres profundidades diferentes (0-30, 30-60 y 60-90 cm) haciendo un pozo en cada unidad experimental (12 árboles) que se secaron, tamizaron y enviaron al laboratorio para determinar algunas de las características físicas y químicas más importantes. Se determinó la densidad aparente por el método de campo utilizando plástico según Torres (1981), capacidad de campo por el método directo descrito por Vega (1980), punto de marchitez permanente usando la relación $pmp = \frac{cc}{2.1}$ (Torres 1981) para suelos de

media el porcentaje de saturación por el método descrito por Palacios (1966); la tensión del suelo se estimó por el método de Palacios y Jaspeado (1982).

Registro de la evaporación. Se instaló un tanque evaporímetro tipo "A" en el lugar del estudio para registrar la evaporación diaria y determinar el momento de riego en cada uno de los tratamientos, así como la evapotranspiración potencial por el método propuesto por Doorenbos y Pruitt (1977) de marzo a septiembre.

Registro de la precipitación pluvial. Se instaló un pluviómetro en el sitio de estudio, considerando como lluvia efectiva aquella que fue mayor de 5 mm diarios como lo establece Grassi (1966).

Muestreo de raíces. Dentro del mismo huerto se seleccionaron cinco árboles de manzano con el propósito de conocer la distribución de raíces. Se usó el método del monolito diseñado por Rogers y Shitt, citado por Medina *et al.* (1980). El suelo se extrajo en capas de 20 cm hasta 80 cm de profundidad y a cuatro diferentes distancias del tronco (cada metro) hasta cubrir un radio de cuatro metros.

Primero se extrajeron las raíces de cada uno de los bloques del suelo, posteriormente se agruparon de acuerdo a su diámetro en: 1) fibrosas o absorbentes (< 3 mm); 2) de conducción (entre 3 y 5 mm); 3) de anclaje (> 5 mm), posteriormente se pesaron en fresco para su análisis correspondiente.

Cálculo de la evapotranspiración real (Etr).

El consumo de humedad del manzano se cuantificó muestreando al suelo gravimétricamente, antes y después de aplicar los riegos correspondientes a cada tratamiento. Las profundidades de muestreo fueron: 0-30, 30-60 y 60-90 cm; haciendo nueve repeticiones por profundidad, para cada tratamiento y a diferentes distancias del tronco del árbol.

Área de riego. A cada uno de los 12 árboles seleccionados, se delimitó su área para cubrir los 49 m² (7m x 7m) correspondientes. En esta práctica se levantó un bordo de 30 cm de alto en forma de cajete donde se pudiera aplicar el agua requerida por cada unidad experimental.

Riegos. Conociendo la lámina (Etr) y el área correspondiente, se calculó el volumen de agua por aplicar a cada uno de los árboles en estudio. Para esto se usó un tanque con capacidad de 5 m³, el cual se subió en un remolque jalado por un tractor donde se acarrió el agua necesaria para aplicar exactamente la evapotranspirada.

Fertilización. La fertilización se hizo en forma homogénea, en cada uno de los 12 árboles seleccionados, usando la dosis 90-50-50 aplicada al suelo antes de brotación. Además se hicieron tres aplicaciones del fertilizante foliar: Bayfolan Forte II-8-6; con dosis de 750 cm³ en 100 litros de agua, las primeras dos aplicaciones se dieron el 14 y 23 de abril, fechas en las cuales los árboles de manzano se encontraban en los estadios de plena floración y caída de pétalos, respectivamente. La tercera aplicación se efectuó el 6 de mayo, día en el cual los árboles de manzano estaban en el estadio amarre de frutos. Esta práctica tuvo como base otros trabajos sobre nutrición en

manzano desarrollados por Amado en 1983, dentro del mismo huerto donde se hizo el estudio en cuestión.

Parámetros medidos en el árbol. Se evaluó el incremento de la circunferencia del tronco, el crecimiento vegetativo apical, el número, diámetro y peso de la fruta cosechada en cada unidad experimental.

Análisis estadísticos. Los parámetros medidos en el árbol descritos anteriormente se analizaron con el diseño establecido, comparando los tratamientos al 1 y 5% de probabilidad usando D.M.S. También se corrieron regresiones entre la Etr del manzano y las variables mencionadas. Las funciones obtenidas se tomaron como base para registrar las relaciones más importantes entre la Etr del manzano y los parámetros de vigor y de rendimiento.

RESULTADOS Y DISCUSION

Análisis de suelos.

Los resultados de análisis indican que el suelo estudiado se caracteriza por una textura migajón arcillo arenosa (50% de arena, 21% de limo y 29% de arcilla), es pobre en materia orgánica ($< 0.91\%$) con un pH que fluctúa desde medianamente ácido (6.0) hasta ligeramente alcalino (7.7) con bajos contenidos de carbonatos de calcio ($\leq 3.43\%$) y una conductividad eléctrica menor de 0.90 mmhos/cm lo cual indica que es un suelo libre de sales con buen potencial para producir manzana adecuadamente. El porcentaje de saturación fluctuó entre 38 y 39 la capacidad de campo del 19 al 20 por ciento y el punto de marchitez permanente alrededor del nueve por ciento, mientras que la densidad aparente mostró resultados entre 1.3 y 1.6 g/cm³; estos datos son básicos para el desarrollo del presente trabajo.

Estimación de la evapotranspiración potencial (Etp).

Una estimación aceptable de la demanda evapotranspirativa se hace mediante la medición de la evaporación de un tanque tipo "A", como lo señala Grassi (1966), ya que integra el efecto de la radiación, el viento, la temperatura y la humedad relativa, principales variables climatológicas que influyen en el consumo de agua de las plantas. También registra que la evaporación del tanque como estimador de la evapotranspiración potencial es aceptable. En nuestro caso en el área de estudio fue de 1027.2 mm del 22 de marzo al 30 de septiembre distribuidos de la siguiente manera: 72.0; 223.2; 212.8; 169.6; 135.2; 116.0 y 98.4 mm durante marzo, abril, mayo, junio, julio, agosto y septiembre respectivamente. Como se puede observar la mayor cantidad de agua evaporada fue al principio del ciclo donde se registraron vientos con un recorrido igual o mayor de 200 km/día y ráfagas hasta de 120 km/hora. La radiación solar fue de 432, 514, 557, 530, 465 y 455 cal/cm²/día durante marzo, abril, mayo, junio, julio y agosto, respectivamente. Con una temperatura media de 9.1, 14.4, 16.5, 18.6, 17.4, 18.4 y 16.3°C. Mientras que la humedad relativa media fue de 36.7, 38.6, 39.1, 52.2, 68.5, 69.4 y 65.7% de marzo a septiembre, respectivamente. Además se observó una relación inversa con la precipitación pluvial registrándose en total 466 mm de los cuales se consideraron como efectivos 425 mm, equivalentes al 91% del total; estos en forma desglosada se reportaron como sigue: 12, 13.5, 64.5, 169.5, 148 y 58.5 mm durante abril, mayo, junio, julio, agosto y septiembre, respectivamente.

Cálculo de la evapotranspiración real (Etr).

La capa de control en el suelo fue hasta 90 cm de profundidad, aunque la de mayor importancia (por la cantidad de raíces que influyen en al Etr) fue de 0 a 40 cm, donde se registró el 60% de las raíces absorbentes (menores a 3 mm de diámetro), el 70% de las raíces de conducción (3 a 5 mm de diámetro) y el 73% de las raíces anclaje (> 5 mm de diámetro). En el tratamiento más húmedo se reportaron

88.36 cm de los cuales 45.86 se calcularon con cinco riegos de auxilio y láminas de 11.02, 8.15, 8.96, 10.50 y 7.23 cm aplicados a una tensión media de 2.88 atmósferas en la capa de 30-60 cm de profundidad, hasta el 26 de junio del presente ciclo. Después de esta fecha, no se pudo regar, debido a la presencia del agua de lluvia, la cual provocó que el perfil del suelo estudiado mostrara condiciones muy cercanas a capacidad de campo durante el tiempo que faltaba para cosechar. En este tratamiento el factor de cultivo global fue de 0.86 ($K = E_{Tr}/E_{Tp}$) con el tratamiento intermedio se calcularon 77.53 cm de evapotranspiración de los cuales 35.03 se aplicaron con tres riegos de auxilio y láminas de 11.55; 11.18 y 12.30 cm aplicados a una tensión media de 7.5 atmósferas en la capa de 30-60 cm de profundidad, también hasta el 26 de junio del ciclo 1986, después de esta fecha las lluvias no permitieron continuar con los tratamientos establecidos, el factor de cultivo global fue de 0.75.

En el tratamiento seco sólo se pudo dar un riego de auxilio (el 10. de abril) con una lámina de 14.30 cm, aplicado a una tensión inicial de 9.29 atmósferas en la capa de 30-60 cm. Posteriormente al igual que en los otros tratamientos el efecto de las lluvias (42.5 cm) no permitió dar otro riego. Aunque esta situación fue muy importante ya que se puede comparar con el tratamiento testigo (riegos con el criterio del productor) en el cual también se dio un solo riego (el 8 de mayo) con una lámina de 14.12 cm aplicado a una tensión de 9.14 atmósferas. En estos dos tratamientos el factor de cultivo fue igual a 0.55 sólo que el periodo en el cual se mantuvieron secos estos árboles fue mayor y el efecto causado se manifiesta notablemente en el desarrollo del manzano; principalmente en el crecimiento y en la producción como se discutirá más adelante. Los datos descritos anteriormente los puede ver en el Cuadro 1.

Análisis y Correlación de los Parámetros Medidos en el Arbol.

Evaluación del crecimiento vegetativo apical.
En este análisis se mostraron diferencias

estadísticas significativas entre los tratamientos establecidos. Aunque el periodo donde hubo un diferencial de humedad en el suelo haya sido del 10. de abril al 26 de junio como se explicó anteriormente, el mayor crecimiento (25.5 cm) se registró con el tratamiento más húmedo el cual es estadísticamente diferente de los otros tres, cuyas medidas fueron de 15.06; 15.0 y 10.06 cm para los tratamientos intermedio, seco y testigo, respectivamente, los cuales estadísticamente son iguales entre sí. Aquí se pudo observar que el primer síntoma de deficiencias de agua es una reducción en el crecimiento vegetativo apical como lo menciona Kotzé (1984) indicando que para la variedad Golden Delicious un crecimiento de 25 cm es adecuado.

Al relacionar esta variable (Figura 1) se pudo registrar que el índice de determinación $r^2 = 0.62$ es uno de los más altos, el modelo al que se ajusta fue $Y = 56.635 - 1.4538X + 0.012018X^2$ de donde podemos deducir que mínimo se necesitan 92 cm evapotranspirados para tener un crecimiento vegetativo apical adecuado.

Evaluación del diámetro del fruto. Su análisis indica diferencias estadísticas altamente significativas entre los

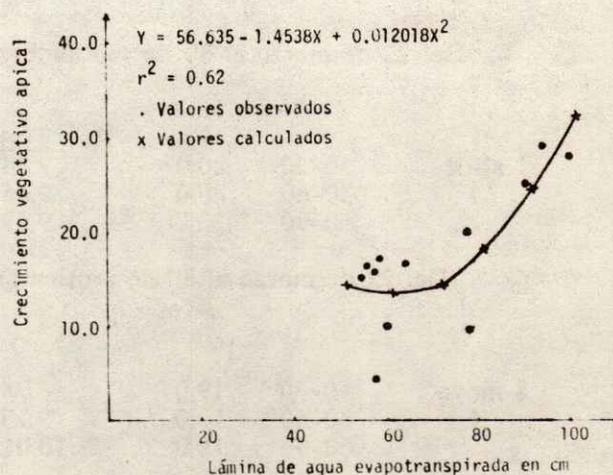


Figura 1. Relación entre crecimiento vegetativo apical y la evapotranspiración real del manzano. Bachíniva, Chih. Ciclo 1986.

Cuadro 1. Evapotranspiración real del manzano. Bachíniva, Chih. Ciclo 1986.

Fecha y no. riego	Profundidad (cm)	cc %	% humedad antes riego	Tensión en ATM	Densidad aparente g/cm ³	Consumo (cm)	Lámina total consumida en (cm)
<u>Tratamiento húmedo</u>							
31 marzo 1	0-30	19.67	9.92	11.26	1.53	4.48	
	30-60	19.67	11.53	5.12	1.47	3.59	
	60-90	19.67	12.97	2.77	1.47	2.95	11.02
17 abril 2	0-30	19.67	12.63	3.18	1.53	3.23	
	30-60	19.67	14.07	1.81	1.47	2.47	
	60-90	19.67	14.11	1.78	1.47	2.45	8.15
8 mayo 3	0-30	19.67	11.20	5.96	1.53	3.89	
	30-60	19.67	13.61	2.15	1.47	2.67	
	60-90	19.67	14.22	1.71	1.47	2.40	8.96
2 junio 4	0-30	19.67	9.90	11.38	1.53	4.48	
	30-60	19.67	12.10	3.98	1.47	3.34	
	60-90	19.67	13.60	2.16	1.47	2.68	10.50
1 julio 5	0-30	19.67	13.30	2.43	1.53	2.92	
	30-60	19.67	14.87	1.35	1.47	2.12	
	60-90	19.67	14.70	1.44	1.47	2.19	7.23
							45.86
Del 22 de marzo al 30 de septiembre lluvia efectiva = 42.50 cm							42.50
							88.36
<u>Tratamiento intermedio</u>							
1 abril 1	0-30	19.33	10.62	7.24	1.37	3.58	
	30-60	19.33	12.00	3.82	1.30	2.86	
	60-90	19.33	8.49	23.39	1.57	5.11	11.55
9 mayo 2	0-30	19.33	8.69	20.70	1.37	4.38	
	30-60	19.33	11.60	4.56	1.30	3.01	
	60-90	19.33	11.28	5.28	1.57	3.79	11.18
26 junio 3	0-30	19.33	8.70	20.65	1.37	4.37	
	30-60	19.33	9.52	14.12	1.30	3.83	
	60-90	19.33	10.62	7.24	1.57	4.10	12.30
							35.03
Del 22 de marzo al 30 de septiembre lluvia efectiva = 42.50 cm							42.50
							77.53
<u>Tratamiento seco</u>							
1 abril 1	0-30	20.0	9.14	18.82	1.47	4.79	
	30-60	20.0	9.46	16.29	1.50	4.74	
	60-90	20.0	9.59	14.63	1.53	4.77	14.30
							42.50
Del 22 de marzo al 30 de septiembre lluvia efectiva = 42.50 cm							42.50
							56.80
<u>Testigo</u>							
8 mayo 1	0-30	19.0	8.78	18.14	1.60	4.91	
	30-60	19.0	9.23	17.14	1.57	4.98	
	60-90	19.0	10.01	9.12	1.57	4.23	14.12
							42.50
Del 22 de marzo al 30 de septiembre lluvia efectiva = 42.50 cm							42.50
							56.62

tratamientos establecidos mostrando una relación estrecha con la cantidad de agua evapotranspirada. El tratamiento húmedo reportó frutos de 7.25 cm de diámetro. Esta condición lo hace estadísticamente diferente de los otros tres tratamientos; los cuales registraron medias de 6.36 y 6.37 cm de diámetro para el tratamiento intermedio y seco, y que estadísticamente son iguales entre sí, pero diferentes de los otros dos. Finalmente el tratamiento testigo fue el que produjo los frutos más chicos reportando una media de 5.81 cm; mostrando un efecto bastante notable al someter los árboles a tensiones menores de 15 atmósferas durante las etapas de brotación, floración y cuajado de fruto principalmente, ya que después del 26 de junio la presencia de las lluvias propició un buen contenido de humedad en el suelo C de 2 a 3 atmósferas), sin embargo, el daño ya estaba hecho. En la Figura 2 podemos observar la distribución del tamaño de los frutos la cual obedece al modelo $Y = 9.4249 - 0.1103X + 0.000929X^2$, y el índice de determinación $r^2 = 0.71$ fue el más alto dentro de las variables evaluadas. Basados en esta función podemos decir que se necesitan mínimo 90 cm evapotranspirados para tener una calidad aceptable en relación al tamaño de fruto (7.0 cm).

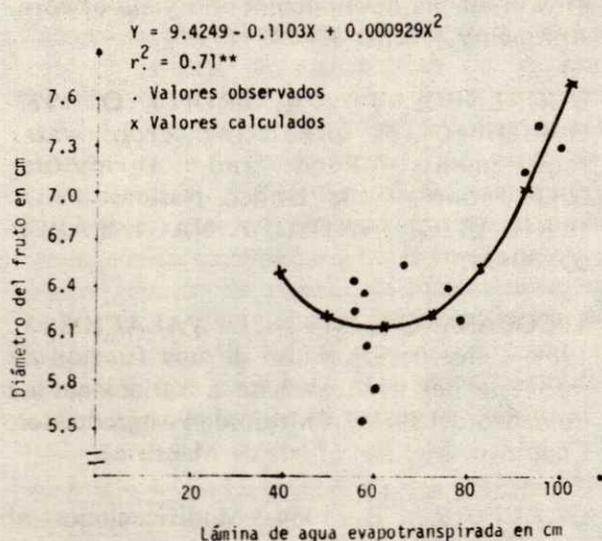


Figura 2. Relación entre el diámetro del fruto y la evapotranspiración real del manzano. Bachíniva, Chih. Ciclo 1986.

Evaluación del rendimiento. Este análisis incluye el número, el diámetro y el peso de frutos en forma global. No se reportaron diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos establecidos; además como lo hemos mencionado es difícil explicar la respuesta del árbol a diferentes cantidades de evapotranspiración. En el presente estudio el tratamiento más húmedo reportó una media de 104.26 kg por árbol equivalentes a 21.3 ton ha⁻¹, mientras que el tratamiento testigo mostró una media de 106.41 kg árbol⁻¹ equivalentes a 21.71 ton ha⁻¹. Dicho de otra manera, con una evapotranspiración de 88.29 cm se produjo el mismo peso que con 56.94 cm evapotranspirados; aunque de muy diferente calidad. Estos resultados coinciden con los reportados por Palacios (1984) al referirse a árboles frutales. El tratamiento más seco registró una media de 80.48 kg árbol⁻¹ equivalentes a 16.42 ton ha⁻¹, superado ampliamente por el tratamiento intermedio, donde se reportaron 187.8 kg árbol⁻¹ equivalentes a 38.3 ton ha⁻¹ (rebasando también a los otros dos tratamientos). Con estos datos se afirma que ésta es la mejor alternativa de riego; sobre todo para huertas con condiciones similares a donde se desarrolló el estudio, cumpliendo así con el objetivo planteado.

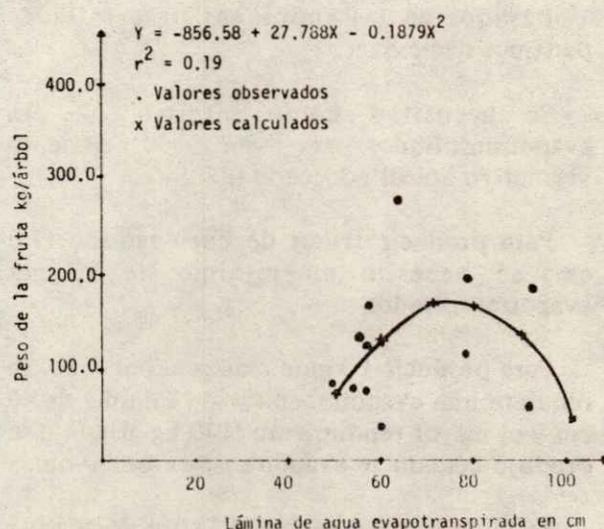


Figura 3. Relación entre rendimiento de manzano (kg árbol⁻¹) y la evapotranspiración real. Calendarios de riego. Bachíniva, Chih. Ciclo 1986.

En la Figura 3, se muestra esta relación la cual obedece al modelo $Y = -856.58 + 27.788X - 0.1879X^2$ donde el índice de determinación fue bajo ($r^2 = 0.19$), también podemos observar que se necesitan mínimo 40 cm evapotranspirados, para producir un kilogramo de manzana y que los máximos rendimientos ($170 \text{ kg árbol}^{-1}$) se producen cuando se evapotranspiraron 70 cm.

Con el objeto de registrar la eficiencia en el uso del agua se relacionó el rendimiento y la cantidad de agua evapotranspirada anotando 2.41; 5.01; 2.93 y 3.82 kilogramos de fruta por cada metro cúbico de agua utilizado para los tratamientos húmedos intermedio, seco y testigo, respectivamente.

CONCLUSIONES

Se pudo lograr el objetivo planteado registrando que la mejor alternativa de riego para huertos en condiciones similares a donde se desarrolló el estudio es cuando se evapotranspiraron 77.53 cm (tratamiento intermedio) de marzo a septiembre produciendo $187.8 \text{ kg árbol}^{-1}$ equivalentes a 38.3 ton ha^{-1} con una eficiencia de 5.01 kg de fruta por metro cúbico de agua utilizado.

Basados en las funciones desarrolladas podemos decir que:

Se necesitan como mínimo 92 cm evapotranspirados para tener un crecimiento vegetativo apical adecuado (25 cm).

Para producir frutos de buen tamaño (7.0 cm) se necesita un mínimo de 90 cm evapotranspirados.

Para producir 1 kg de manzana por árbol se requiere una evapotranspiración mínima de 40 cm y el mayor rendimiento ($170 \text{ kg árbol}^{-1}$) se produjo cuando se evapotranspiraron 70 cm.

Se pudo confirmar que el factor de cultivo global de marzo a septiembre fue de 0.86; 0.75; 0.55 y 0.55 para los tratamientos húmedo, intermedio, seco y testigo,

respectivamente, mientras que la eficiencia en el aprovechamiento del agua registrada fue 2.41, 5.01, 2.93 y 3.82 kg de fruta por metro cúbico de agua usada para los mismos tratamientos.

LITERATURA CITADA

AMADO A., J.P. 1983. Nutrición en manzano para la Sierra de Chihuahua. Investigación en frutales para la Sierra de Chihuahua 1982-1983. 8o. Día del Fruticultor. CAESICH-CIAN-INIA-SARH. pp. 25-33.

AMADO A., J.P. 1985. Determinación del uso consuntivo del manzano (*Malus pumila* Mill) cultivar Golden Spur y Red Delicious, por el método gravimétrico en Cuauhtémoc, Chih. Fitotecnia 7: 135-153.

CONAFRUT-SARH. 1989. Anuario estadístico de la producción frutícola en México.

DELOYE, M. 1967. El riego en frutales. Primera Ed. Madrid España. Ediciones Mundiprensa pp. 44-45.

DENMEAD, O.Y., y R. SHAW. 1960. The effect of soil stress at different stages of growth on the development and yield of corn. Agronomy Journal 52: 272-279.

DOORENBOS, J. y W. PRUITT O. 1977. Guidelines for predicting crop water requirements. Food and Agriculture Organization of the United Nations. FAO-IRRIGATION AND DRAINAGE PAPER pp: 30-34.

ESCOBASA G., L.F. y E. PALACIOS V. 1984. Construcción y uso de una función de respuesta del trigo en base a variaciones de humedad del suelo. Colegio de Postgraduados, Chapingo, México. (Tesis de Maestría).

GARCIA A., E. 1964. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen L., para adaptarlo a las condiciones de México. Offset Larios, S.A., México, D.F.

- GRASSI C., J. 1966. Criterios básicos para determinar el coeficiente de evapotranspiración relativa. 4o. Seminario Latinoamericano de Irrigación. Bogotá, Colombia pp: 25-30.
- KOTZE G., A. 1984. Irrigación scheduling for deciduous fruit with the aid of class a pan evaporation and controlled by means of tensiometers. Fruit and Fruit Technology Research Institute Stellenbosch. SAGTEVRUGTEBOER pp: 23-26.
- MEDINA V., V., S. ALCALDE B. y S. ANDREZEJ. 1980. Análisis de la distribución radicular de ocho patrones injertados con limón persa *Citrus latifolia* Tonaka. Agricultura Técnica en México. INIA-SARH. Vol. 6 No. 1 pp: 67-76.
- PALACIOS V., E. 1966. Cuánto, cuándo y cómo regar. Sobretiro de la revista Ingeniería Hidráulica en México. Vol. XX, No. 1 pp: 95-138.
- PALACIOS V., E. 1982. Respuesta de algunos cultivos a regímenes variables de la humedad del suelo. Recopilación de artículos publicados en diferentes revistas técnicas. Centro de Hidrociencias. Colegio de Postgraduados. Chapingo, México pp: 99-122.
- PALACIOS V., E. 1984. El requerimiento de agua de los cultivos agrícolas y su relación con el rendimiento. Informe de investigación. Colegio de Postgraduados. Chapingo, México pp: 3-42.
- PALACIOS V., E. y J.L. JASPEADO G. 1982. Método para estimar la tensión del suelo en función de su contenido de humedad. Recopilación de artículos publicados en diferentes revistas técnicas: Centro de Hidrociencias. Colegio de Postgraduados. Chapingo, México pp: 51-66.
- PALACIOS V., E. y A. MARTINEZ G. 1978. Respuesta en el rendimiento de los cultivos a diferentes niveles de humedad del suelo. Un enfoque metodológico de investigación. Informe de investigación. Colegio de Postgraduados. Chapingo, México pp: 16-20.
- ROJAS G., M. y M. ROVALO. 1985. Fisiología vegetal aplicada. 3a. Edición. Editorial Mc. Graw Hill. México, D.F. pp: 17-100.
- TORRES R., E. 1981. Manual de conservación de suelos agrícolas. Primera Edición. Editorial Diana. México, D.F. 50 p.
- UNIFRUT. 1985. Estimación del potencial de plantación-producción por zonas hasta 1985. Chihuahua, Chih.
- VEGA D., J. 1980. Uso y Manejo del Agua. Prácticas de campo y gabinete. Instituto Tecnológico de Estudios Superiores de Monterrey. Monterrey, N.L. México. 50 p.

**DEFOLIACION POSTCOSECHA DE CIRUELO JAPONES (*Prunus salicina*
Lindl. x *P. cerasifera* Ehrh) CV METHLEY. II: EFECTO
SOBRE LA BROTAION Y FRUCTIFICACION**

Post-harvest Defoliation of Japanese Plum Trees (*Prunus salicina*
Lindl. x *P. cerasifera* Ehrh) cv Methley. II: Effect
on Bud-Formation and Fruit-Bearing

**A.J. Escobar Gutiérrez, J.L. Tirado Torres,
G. Alcántar González y J. Rodríguez Alcázar**

Colegio de Postgraduados, 56230 Montecillo, México

Palabras clave: Producción forzada,
Anillamiento, Urea, Sulfato de zinc,
Defoliación.

Index words: Forced production, Girdling,
Urea, Zinc sulphate, Defoliation.

RESUMEN

Al final del verano de 1988 se estableció un experimento en el huerto frutícola "San Martín" del Colegio de Postgraduados en Chapingo, empleando árboles de ciruelo japonés de 11 años de edad. Un factor de estudio fue el anillamiento (con y sin) y otro el uso de defoliantes (urea al 10%, una mezcla de urea al 5% más sulfato de zinc al 1.5%, y sulfato de zinc al 3%) comparados con defoliación manual. Se observó que hubo una tendencia a mejorar la brotación en árboles defoliados con urea al 10% y este tratamiento mejoró la cantidad de frutos amarrados, así como su peso seco total y la extracción nutrimental. El anillamiento no mostró efecto sobre la brotación ni tampoco sobre la fructificación.

Recibido 5-91.

SUMMARY

An experiment with eleven-year old Japanese plum trees was carried out at the San Martín experimental orchard of the Colegio de Postgraduados, Chapingo, México, at the end of the summer of 1988. One factor under study was girdling (with and without). The other factor was the use of defoliant agent (urea 10%, a mixture of urea 5% plus zinc sulphate 1.5%, and zinc sulphate 3%) as compared to manual defoliation. A stronger tendency toward bud-formation in trees which were defoliated using urea at 10% was observed. The number of fruits tried down as well as their total dry weight and nutrient contents was several times greater when only urea was used as defoliant. Girdling did not have any effect on either bud-formation or fruit-bearing.

INTRODUCCION

La marcha anual de la temperatura y la disponibilidad de agua son los principales factores que determinan la estación de crecimiento de las plantas y el manejo que se les debe dar para obtener cosechas abundantes, oportunas y de calidad. No obstante, en la actualidad es factible hacer producir cosechas

fuera de la época típica de producción o en regiones con condiciones climáticas diferentes a las de los habitats en los cuales la especie ha evolucionado. A estos sistemas se les denomina de producción forzada.

En todos los frutales la defoliación artificial es el principal factor de manejo para producción forzada, ya que impide que los árboles entren en reposo profundo y estimula el inicio de un nuevo ciclo de crecimiento y producción. La defoliación puede hacerse manual o químicamente; las soluciones de urea son uno de los agentes empleados para tal fin.

Los cambios fisiológicos que sufren las hojas tratadas con defoliantes son similares a los presentados en la senescencia natural (Addicott, 1954). Durante ella, hay cambios observables a nivel de tejidos, como marchitamiento y contracción, y cambios en la ultraestructura de los organelos, siendo los cloroplastos los primeros en cambiar (Borochoy y Faiman-Weinberg, 1984).

La defoliación puede realizarse con una gran cantidad de productos orgánicos e inorgánicos cuyos efectos dependen de la especie, del estado fisiológico y sanitario de la planta y de las hojas, del contenido de carbohidratos, de las condiciones ambientales imperantes durante la aplicación, de las concentraciones aplicadas y de la interacción de productos cuando se utilizan mezclas (Addicott, 1954; Coston *et al.*, 1985).

Los resultados de la defoliación manual en los sistemas de producción forzada son contradictorios. Hermano *et al.* (1987) obtuvieron mala brotación de duraznos en las tierras altas de Filipinas, mientras que en las tierras bajas, Llanes *et al.* (1987) observaron una buena respuesta. En México, duraznos defoliados manualmente tuvieron muy buena brotación, llegando a superar a los defoliados químicamente (Ortiz, 1986). Por el contrario, la defoliación química de manzanos resultó más eficiente (Díaz *et al.*, 1987). En la costa de Perú, la defoliación manual prematura de manzanos, indujo la apertura invernal de un número mayor de yemas que

cuando la defoliación fue química (Bederski, 1987). En Indonesia la defoliación manual ha resultado exitosa en la producción de manzana (Janick, 1974; Notodimedjo *et al.*, 1981).

El momento de la defoliación es de suma importancia; debe hacerse después que las yemas florales se han diferenciado completamente, pero antes de la entrada en reposo profundo (Notodimedjo *et al.*, 1981). El momento de la defoliación también depende de la madurez de la hoja (Hermano *et al.*, 1987).

Un adecuado estado nutrimental parece ser favorable para una buena brotación (Saure, 1985) ya que las reservas son de primera importancia para el crecimiento inicial de la primavera (Kramer y Kozlowski, 1979; Priestley, 1981; Tromp, 1983; Turner, 1986) y un adecuado amarre de frutos (Hansen, 1980).

Los carbohidratos constituyen la mayor parte de los materiales de reserva en el árbol, pero cualitativamente las reservas de nitrógeno son igualmente importantes y no hay razones para pensar que otros minerales no lo sean (Tromp, 1983). Las reservas iniciales de carbohidratos no determinan la cantidad del nuevo crecimiento, mientras que las del nitrógeno son decisivas para que las nuevas ramas crezcan vigorosamente (Priestley, 1981; Tromp, 1983; Turner, 1986) y haya buena densidad de floración y un apropiado amarre de frutos (Hansen, 1980), ya que grandes cantidades de N se translocan hacia hojas, frutos y ramas en desarrollo (Swietlik y Slowik, 1981).

En ciruelo japonés existe poca información y destaca recientemente la contribución de Bustamante (1987), quien realizó un trabajo para conocer los detalles de la ontogenia floral y el mejor momento de defoliación postcosecha.

En el presente estudio se evaluó el efecto de la aplicación de la urea, sulfato de zinc, y la mezcla de ambos en concentraciones defoliantes y se cuantificó su efecto sobre la brotación y fructificación en árboles de

ciruelo japonés del cultivar Methley, anillados y sin anillar.

MATERIALES Y METODOS

Al final del verano de 1988 se estableció el experimento en el huerto frutícola "San Martín" del Colegio de Postgraduados, ubicado en Chapingo, Edo. de México. Se emplearon 32 árboles del ciruelo japonés del cultivar Methley de 11 años de edad, injertados sobre una selección clonal de ciruelo mirabolano (*Prunus cerasifera* Ehrh), plantados en marco real 4 x 4 m con hileras orientadas de norte a sur.

El cultivar Methley es autofértil y en la zona de estudio tiene un periodo de floración de dos meses, tarda 98 días a maduración de fruto y se cosecha en la segunda quincena de junio. Las yemas vegetativas brotan entre el 20 de febrero y el 28 de abril, poco después de las flores. Durante 1985 el amarre final de frutos fue de 5.8%, la brotación vegetativa acumulada fue de 45.5% de las yemas totales. En esta zona, el ritmo de brotación vegetativa de Methley es más acelerado que el de los cultivares Prune, Shiro y Apple (Almaguer, 1986).

El diseño del experimento fue un factorial completo 2 x 4 con ocho tratamientos. El factor anillamiento basal del tronco tuvo dos niveles, con y sin; los cuatro niveles de defoliación se obtuvieron con soluciones de urea al 10% (p/v), sulfato de zinc al 3%, la mezcla de urea al 5% más sulfato de zinc al 1.5%, y la defoliación manual. La asignación de los tratamientos se hizo en bloques completos al azar con cuatro repeticiones. Cada árbol se consideró como unidad experimental y se agruparon en bloques de acuerdo con la superficie de la sección transversal del tronco.

El anillamiento de los árboles se hizo el 18 de agosto mediante una incisión de 2.5 mm de grosor por 10 mm de profundidad alrededor del tronco, a una altura entre 10 y 20 cm sobre el nivel del suelo.

Las soluciones defoliantes se aplicaron el 23 de agosto, es decir 5 días después de anillar. Los árboles se asperjaron con una bomba motorizada, aplicando aproximadamente 3.5 litros de solución a cada uno. Con esta cantidad se alcanzó el "punto de goteo". Se empleó el producto comercial Atlox al 3% (v/v) como adherente. La defoliación manual de los testigos se hizo cuando los árboles asperjados habían perdido cerca del 90% de las hojas; esto fue 16 días después de la aspersión (dda).

El 12 de septiembre se hizo una poda de fructificación a todos los árboles, eliminando las hojas terminales de algunas ramas; se rastreó el terreno para eliminar malezas y posteriormente se regó. El 22 del mismo mes se repitió el rastreo y cinco días después se aplicó el último riego. Finalmente se rastreó el 11 de octubre.

La medición de brotación de yemas florales y vegetativas se hizo valorando visualmente el porcentaje de cobertura del árbol, tanto por brotes vegetativos como por flores.

Se hicieron dos muestreos, el primero 34 dda y el segundo 39 dda, lo que equivale respectivamente a 24 y 29 días después que los árboles anillados y asperjados habían perdido 90% de sus hojas.

Debido a las condiciones climáticas de Chapingo, se sabía que no era posible llegar a obtener frutos maduros; pero el efecto de los tratamientos sobre la productividad potencial, se estimó cuantificando el número de frutos mayores de 7 mm de diámetro presentes al momento de la primera helada severa. Se midió su peso seco total y promedio la concentración y extracción de nitrógeno total, así como la concentración de azúcares solubles totales (AST) y almidón.

Las muestras de frutos se secaron en una estufa con circulación forzada de aire a 70°C, se molieron y luego se cribaron con una malla del número 40. El nitrógeno total se determinó por arrastre de vapor previa

mineralización por el método micro-Kjeldahl (Chapman y Prat, 1973).

Los azúcares solubles totales (AST) fueron extraídos de 200 mg de material molido y seco, con etanol al 80% a 60° C. En el extracto se hizo la cuantificación de AST con antrona en ácido sulfúrico diluido al 66% (v/v) (Southgate, 1976). El residuo se digirió con diastasa de malta (Sargent Welch) (Brown y Zerban, 1955) y los azúcares producidos se cuantificaron con reactivo de antrona, restando al valor obtenido los azúcares aportados por la diastasa y multiplicando el resultado por un factor de recuperación.

RESULTADOS Y DISCUSION

La brotación vegetativa y floral fue mejor y más rápida en el grupo de árboles defoliados con urea al 10%, aunque la magnitud del error experimental no permitió detectar diferencias estadísticamente significativas con respecto a las otras soluciones defoliantes (Cuadros 1 y 2).

El anillamiento no tuvo efecto sobre la brotación (Cuadro 1 y 2). Esto lleva a suponer que en sistemas de producción forzada, el anillamiento no necesariamente estimula e incrementa la producción como ocurre en climas templados (Chalmers, 1986; Westwood, 1978), y

que la respuesta al anillamiento podría ser tan impredecible como la observada en litchi, en el cual puede estimular la brotación o inducir latencia (Menzel y Paxton, 1986).

Cuando se defolió manualmente, la brotación fue igual o cercana a cero y al emplear sulfato de zinc al 3% la brotación fue más baja que la observada por Bustamante (1987).

Estos resultados corroboran el efecto inesperado y muchas veces contradictorio del medio de defoliación, previamente descritos en la introducción. Cabe señalar que en los trabajos antes citados no se reportan evaluaciones de las reservas nutrimentales.

Es posible que la brotación de yemas en los sistemas de producción forzada dependa menos de las reservas nutrimentales que en los climas templados, donde durante el periodo de reposo y sin haber fotosíntesis, debe mantenerse la actividad respiratoria por varios meses, con el consecuente abatimiento de las reservas (Coston et al., 1985; Kramer y Kozlowki, 1979; Priestley, 1981; Saure, 1985; Tromp, 1983; Turner, 1986; Wortley, 1979).

Se esperaba que la brotación se presentara de 20 a 30 días después de la caída de las hojas (Edwards y Notodimedjo, 1987), pero en algunos tratamientos la brotación fue cercana a cero, a pesar de que los niveles de N y

Cuadro 1. Porcentajes promedio de yemas vegetativas brotadas en otoño como respuesta a la defoliación post-cosecha del ciruelo japonés. Chapingo, Méx.

Combinaciones		Porcentaje de brotación ¹⁾	
Anillamiento	Defoliante	34 dda	39 dda
No	Urea 10%	17.5 a	25.3 a
Si	Urea 10%	10.8 ab	25.3 ab
No	Mezcla	2.0 ab	6.8 ab
Si	Mezcla	3.0 ab	6.3 ab
No	ZnSO ₄ 3%	1.0 ab	5.8 ab
Si	ZnSO ₄ 3%	0.5 ab	5.5 ab
No	Manual	0.0 b	2.3 ab
Si	Manual	0.0 b	0.0 b

dda = Días después de la aspersión.

1) En cada columna, valores con la misma letra son estadísticamente iguales según la prueba de rangos de Friedman ($\alpha=0.05$).

Cuadro 2. Porcentaje promedio de yemas florales brotadas en otoño, en respuesta a la defoliación post-cosecha del ciruelo japonés. Chapingo, Méx.

Anillamiento	Combinaciones Defoliante	Porcentaje de brotación ¹⁾	
		34 dda	39 dda
No	Urea 10%	47.0 a	42.5 a
Si	Urea 10%	50.0 a	46.3 a
No	Mezcla	17.5 ab	11.5 ab
Si	Mezcla	16.3 ab	15.5 ab
No	ZnSO ₄ 3%	8.5 ab	11.3 ab
Si	ZnSO ₄ 3%	9.5 ab	13.8 ab
No	Manual	0.0 b	14.5 ab
Si	Manual	0.0 b	3.0 b

dda = Días después de la aspersión.

1) En cada columna, valores con la misma letra son estadísticamente iguales, según la prueba de rangos de Friedman ($\alpha = 0.05$).

carbohidratos no se habían abatido drásticamente. Las posibles causas de la pobre brotación serían:

Primera, durante la primavera en la zona de estudio, el cultivar Methley tarda dos meses en completar su brotación (Almaguer, 1986); por tanto, es posible que la brotación postdefoliatoria requiera un periodo igual o mayor a ese.

Segunda, existe el antecedente que en Indonesia durante la estación húmeda, el 95% de las yemas de manzano brotaron cuatro semanas después de la defoliación, pero en la época seca el 80% brotó hasta después de 20 semanas (Edwards y Notodimedjo, 1987; Notodimedjo *et al.*, 1981). El doblado de ramas, el desescamado, el riego y los tratamientos con ethephon ayudaron a aliviar este problema (Notodimedjo *et al.*, 1981). Para las condiciones de Chapingo, se propone entonces probar el desescamado de las yemas (Abbott, 1970), la aplicación de estimuladores de brotación, como cianamida de hidrógeno, tiourea, aceite invernal, dinitro-ortocresol, nitrato de potasio o ethephon, ya utilizados en sistemas de producción forzada para estimular la brotación (Edwards, 1987; Erez, 1987; Hermano *et al.*, 1987; Notodimedjo *et al.*, 1981). En Chapingo, la cianamida de hidrógeno y citrolina más dinitro-

ortosecundario-butil-fenol adelantan la brotación de primavera (Ramos *et al.*, 1987).

Otras posibles causas de la escasa brotación son: la falta de temperaturas adecuadas o la insuficiente acumulación de unidades calor después de la defoliación (Saure, 1985; Wortley, 1979); el efecto de fotoperiodo (Erez, 1987); o la presencia de inhibidores como el ácido abscísico (Notodimedjo *et al.*, 1981; Taylor *et al.*, 1984, citados por Bustamante, 1987).

De las variables registradas en fructificación, el anillamiento sólo disminuyó la concentración de azúcares solubles totales (AST) (Cuadro 3). Se esperaba que los árboles anillados tuvieran mayor número y peso de frutos (Chalmers, 1986; Westwood, 1978), sin embargo, como no fue así, nuestros resultados confirman lo impredecible de la respuesta a esta práctica (Chalmers, 1986; Pérez y Rodríguez, 1987; Westwood, 1978).

La cantidad y peso de frutos que lograron desarrollarse hasta el momento de la primera helada severa en los árboles defoliados con urea, fue 400% mayor que en los defoliados con la mezcla o con el sulfato de zinc. Esto coincide con lo observado por Muratalla y Barrientos (1981). Los efectos del testigo

Cuadro 3. Efecto del anillamiento sobre las variables de fructificación en árboles de ciruelo japonés, Chapingo, Mex.

Variables	Anillados		No anillados		DHS (5%) ¹⁾
Número de Frutos	225	a	209	a	150
Peso seco (g)					
total	31.4	a	29.0	a	22.4
promedio	0.136	a	0.126	a	0.016
Concentración (%)					
de N	1.83	a	1.73	a	0.13
de P	0.12	a	0.11	a	0.02
de K	0.56	a	0.53	a	0.08
de AST	6.92	b	7.93	a	0.42
de ALM	3.55	a	3.39	a	0.21
Extracción (mg)					
de N	527	a	517	a	370
de P	40.5	a	36.5	a	31.4
de K	185	a	158	a	137

1) En cada hilera, valores con la misma letra son estadísticamente iguales. (Tukey, 0.05) promedio de 16 repeticiones.

fueron estadísticamente iguales a los del sulfato de zinc o la mezcla. El peso seco promedio por fruto fue similar en todos los tratamientos con defoliación química (Cuadro 4).

Estas diferencias en la cantidad de frutos y su peso seco total se consideran evidencias claras de lo ventajoso de la defoliación con urea. En las investigaciones de Hansen (1980) y Shim *et al.* (1972) se ha subrayado la importancia de las reservas de nitrógeno para un adecuado amarre de frutos. En este trabajo el número de frutos y su peso seco total se asociaron con la concentración de nitrógeno en las hojas antes de aplicar los tratamientos y 3 dda.

La combinación de anillamiento y defoliación con urea produjo el mayor número y peso seco total de frutos, mientras que los árboles anillados y defoliados manualmente tuvieron los frutos más pequeños y con el menor peso seco total (Cuadro 5).

El medio de defoliación no afectó la concentración de fósforo ni de potasio en los frutos, pero sí la de nitrógeno (Cuadro 6). Los frutos de los árboles defoliados

Cuadro 4. Efecto del medio de defoliación sobre el número, el peso seco total y el peso seco promedio de frutos producidos durante el otoño por árboles de ciruelo japonés. Chapingo, Mex.

Medio de defoliación	Número de ¹⁾ frutos	Peso seco (g)	
		total	promedio
Urea 10%	575 a	78.2 a	0.132 a
Mezcla	121 b	18.7 b	0.152 a
ZnSO ₄ 3%	130 b	20.2 b	0.153 a
Manual	42 b	3.8 b	0.087 b
DHS	284	42.5	0.03

1) En cada columna, medias con la misma letra son estadísticamente iguales (Tukey, 0.05). Promedio de 8 repeticiones.

manualmente tuvieron tanto nitrógeno como aquellos de los que recibieron urea, pero esta igualdad fue debida a un efecto de dilución en estos últimos, puesto que tuvieron frutos más grandes (Mengel y Kirkby, 1987). La correlación entre el peso seco promedio del fruto y su concentración de N fue negativa y altamente significativa con un valor de $r = -0.53$, la cual se podría explicar por el mismo efecto de dilución.

Cuadro 5. Efecto de los tratamientos sobre el número, el peso seco promedio y el peso seco total de frutos producidos durante el otoño por árboles de ciruelo japonés. Chapingo, México.

Anillamiento	Combinación Defoliante	Número de frutos		total	Peso seco (g)		
					promedio		
Si	Urea 10%	638	a	77.5	a	0.120	abc
	Mezcla	121	bc	19.4	ab	0.160	a
	ZnSO ₄ 3%	119	bc	16.7	ab	0.139	ab
	Manual	22	c	2.5	c	0.086	c
No	Urea 10%	511	ab	78.8	a	0.144	a
	Mezcla	122	bc	18.8	ab	0.145	a
	ZnSO ₄ 3%	141	bc	23.6	ab	0.168	a
	Manual	61	bc	5.1	b	0.087	bc
DHS (5%)		484		72.39		0.052	

1) En cada columna, medias con la misma letra son estadísticamente iguales (Tukey, 0.05). Promedio de 4 repeticiones.

Cuadro 6. Efecto del medio de defoliación sobre concentración de N, P y K en los frutos producidos durante el otoño por árboles de ciruelo japonés. Chapingo, Mex.

Medio de defoliación	Concentración (% materia seca) ¹⁾		
	N	P	K
Urea 10%	1.78 ab	0.121 a	0.525 a
Mezcla	1.71 b	0.122 a	0.588 a
ZnSO ₄ 3%	1.68 b	0.100 a	0.473 a
Manual	1.96 a	0.144 a	0.602 a
DHS (5%)	0.24	0.033	0.151

1) En cada columna medias con la misma letra son estadísticamente iguales (Tukey, 0.05). Promedio de 8 repeticiones.

La extracción de N, P y K fue de 400-500% mayor en los árboles defoliados con urea al 10 % que con los otros tratamientos químicos (Cuadro 7).

Esta mayor extracción se debe más al peso seco de los frutos producidos que a su concentración de N. Aunque las diferencias no fueron estadísticamente significativas, los frutos de árboles defoliados con urea tuvieron menos AST (Cuadro 8). La causa sería, posiblemente, debido a la presencia de mayor cantidad de carbohidratos estructurales, principalmente en el endocarpio, el cual estaba más desarrollado en los frutos más grandes. En el caso del almidón no se observaron diferencias (Cuadro 8).

Cuadro 7. Efecto del medio de defoliación sobre la extracción de N, P y K por frutos producidos durante el otoño en árboles de ciruelo japonés. Chapingo, Mex.

Medio de Defoliación	Extracción (mg) ¹⁾		
	N	P	K
Urea 10 %	1364 a	97.8 a	421 a
Mezcla	313 b	23.0 b	105 b
ZnSO ₄ 3%	338 b	18.9 b	92 b
Manual	74 b	5.7 b	30 b
DHS (5%)	701	60.1	261

1) En cada columna, medias con la misma letra son estadísticamente iguales (Tukey, 0.05). Promedios de 8 repeticiones.

Cuadro 8. Efecto del medio de defoliación sobre la concentración de azúcares solubles totales (AST) y almidón (ALM) en frutos de ciruelo japonés producidos durante el otoño. Chapingo, Méx.

Medio de defoliación	Concentración (%) ¹⁾	
	AST	ALM
Urea 10%	6.90 b	3.47 a
Mezcla	7.47 ab	3.46 a
ZnSO ₄ 3%	7.90 a	3.34 a
Manual	7.63 ab	3.65 a
DHS (5%)	0.81	0.39

1) En cada columna, medias con la misma letra son estadísticamente iguales (Tukey, 0.05). Promedios de 8 repeticiones.

CONCLUSIONES

Se observó una tendencia general a mejorar la brotación vegetativa y floral en árboles defoliados con urea al 10%.

La cantidad de frutos amarrados, así como su peso seco total y su extracción nutricional fue considerablemente mayor cuando se usó urea solamente como defoliante, en comparación con el sulfato de zinc, la mezcla de urea-sulfato de zinc o la defoliación manual.

El anillamiento no tuvo efecto sobre la brotación ni sobre la fructificación.

Finalmente, con base en los resultados obtenidos se recomienda el uso de soluciones de urea sola como defoliante, ya que ésta incrementa las reservas de nitrógeno en los árboles.

LITERATURA CITADA

- ABBOTT, D.L. 1970. The role of budscales in morphogenesis and dormancy of apple fruit bud. pp 65-82. In: L.C. Luckwill and C.V. Cutting (eds). Physiology of Tree Crops. Acad. Press. London.
- ADDICOTT, F. 1954. Abscission and plant regulators. pp 99-116. In: H.B. Tukey (Ed.). Plant regulators in agriculture. J. Wiley and Sons. New York.
- ALMAGUER V., G. 1986. Caracterización de cuatro cultivares de ciruelo japonés (*Prunus salicina* Lindl) en Chapingo, Méx. Colegio de Postgraduados, Chapingo, México. Tesis de Maestría.
- BEDERSKI, K. 1987. Selection and dormancy management of temperate zone deciduous fruit tree cultivars in coastal valleys of Peru. Acta Hort. 199:33-37.
- BOROCHOV, A. y R. FAIMAN-WEINBERG. 1984. Biochemical and biophysical changes in plant protoplasmic membranes during senescence. What's New Plant Physiol. 15: 1-4.
- BROWN, C.A. y F.W. ZERBAN. 1955. Physical and Chemical Methods of Sugar Analysis. 3rd. ed. Wiley. New York.
- BUSTAMANTE O., F. 1987. Diferenciación floral y producción forzada de ciruelo japonés (*Prunus salicina* L. x *P. cerasifera* E.) cv. Methley en Chapingo, México. Colegio de Postgraduados, Chapingo, México. (Tesis de Maestría)
- COSTON, D.C., G.W. KREWER, T.E. ELKNER, J.G. WILLIAMSON y E.T. SIMS Jr. 1985. Chemical treatments to delay bloom in peach. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 110:874-877.
- CHALMERS, D.J. 1986. Research and progress in cultural systems and management in temperate fruit orchards. Acta Hort. 175:215-225.
- CHAPMAN, H.D. y P.F. PRAT. 1973. Métodos de análisis para suelos y aguas. Ed. Trillas. México.
- DIAZ M, H.D., A. ALVAREZ y J. SANDOVAL. 1987. Cultural and chemical practices to induce uniform bud break of peach and apple under warm climates in Mexico. Acta Hort. 199:129-136.
- EDWARDS, G.R. 1987. Temperature in relation to peach production in the tropics. Acta Hort. 199:61-62.
- EDWARDS, G.R. y S. NOTODIMEDJO. 1987. Defoliation, bending and tip pruning of apple under tropical conditions. Acta Hort. 199:125-127.
- EREZ, A. 1987. Use of the rest avoidance technique in peaches in Israel. Acta Hort. 199:137-144.
- HANSEN, P. 1980. Yield components and fruit development in "Golden Delicious" apples as affected by the timing of nitrogen supply. Scientia Hort. 12:243-257.

HERMANO, F.G., J.F. BEN-EK, T.T. VARGAS y G.R. EDWARDS. 1987. Apples and peaches in tropical highlands of Philippines. *Acta Hort.* 199:63.

JANICK, J. 1974. The apple in Java. *Hort Science* 9:13-15.

KRAMER, P.T. y T.T. KOZLOWSKI. 1979. *Physiology of woody plants*. Academic Press. New York.

LLANES, R., R.A. DE LAS ALAS, E. OTOMO y G.R. EDWARDS. 1987. Apples and peaches in tropical lowlands of Philippines. *Acta Hort.* 199:64.

MENGEL K. y E.A. KIRKBY .1987. *Principles of plant nutrition*. 4th. ed. International Potash Institute. Worblaufen Bern. Switzerland.

MENZEL, C.M. y B.F. PAXTON. 1986. The effect of cincturing of flowering lytchees in subtropical Queensland. *Acta Hort.* 175:233-236.

MURATALLA L. A. y F. BARRIENTOS P. 1981. Estudio de la defoliación de durazno en Chapingo, México. pp. 322. *In: Colegio de Postgraduados, Avances en la Enseñanza y la Investigación*. Chapingo, México.

NOTODIMEDJO, S., H. DANOESASTRO, S. SASTROSUMARTO y G.R. EDWARDS. 1981. Shoot growth, flower initiation and dormancy of apples in the tropics. *Acta Hort.* 120: 179-186.

ORTIZ L.,M. 1986. Producción forzada de durazno (*Prunus persica* L. Batsch) bajo condiciones subtropicales. *Colegio de Postgraduados*. Chapingo, México. (Tesis de Maestría).

PEREZ B.,H. y J. RODRIGUEZ A. 1987. Efecto del anillado en el rendimiento y calidad de árboles de durazno (*Prunus persica* L.) bajo un sistema de producción intensiva. *Agrociencia* 68:62-73.

PRIESTLEY, C.A. 1981. Perennation in woody fruit and its relationship to carbohydrate turnover. *Ann. Appl. Bio.* 98:548-552.

RAMOS V. R., J. RODRIGUEZ A., M.T. COLINAS L. y C. SAUCEDO V. 1987. Cianamida de hidrógeno en la brotación de yemas de ciruelo japonés (*Prunus salicina* Lindl.). *Agrociencia* 68:163-172.

SAURE, M.C. 1985. Dormancy release in deciduous fruit trees. *Hort. Rev.* 7:239-299.

SHIM, K.K., J.S. TITUS y W.F. SPLITTSTOESSER. 1972. The utilization of post-harvest urea sprays by senescing apple leaves. *J.Amer. Soc. Hort. Sci.* 97:592-596.

SOUTHGATE, D.A.T. 1976. *Determination of food carbohydrates*. Applied Science Publishers. Essex, England.

SWIETLIK, D. y K. SLOWIK. 1981. The uptake of N labelled urea by tart cherry and apple trees and the distribution of absorbed nitrogen in tart cherry trees. *Fruit Sci. Reports* 7: 49-59.

TROMP, J. 1983. Nutrient reserves in roots of fruit trees, in particular carbohydrates and nitrogen. *Plant and Soil* 71:401-413.

TURNER, W.D. 1986. Plant carbon balance. *Acta Hort.* 175:109-114.

WESTWOOD, M.N. 1978. *Temperate-zone pomology*. Freeman, Cal., USA.

WORTLEY, R.E. 1979. Fall defoliation date, quality, nutlet set and foliage regrowth for pecan. *Hort Science* 6:646-647.

**LIMITE DE RENDIMIENTO PARA DIVIDIR LAS DOS
SUBPOBLACIONES DE LAS NORMAS DRIS,
PARA NOGAL PECANERO**

Limit of Yield to Divide the Two
Subpopulations of the
DRIS Norms to Pecan Tree

Ma. del Consuelo Medina M. y Enrique de J. Medina M.

CIFAP-Región Lagunera-INIFAP, Apartado Postal 247,
27000 Torreón, Coahuila

Palabras clave: *Carya illinoensis*, Nutrición,
DRIS, Rendimiento.

Index words: *Carya illinoensis*, Nutrition,
DRIS, Yield.

RESUMEN

Existe la hipótesis de que el límite de rendimiento para dividir las dos subpoblaciones (de bajo y alto rendimiento), para generar las normas DRIS, no es crítico, siempre y cuando los datos presenten una distribución normal, ya que el valor de la media (\bar{X}) o norma, siempre es el mismo. Se realizó un estudio para comprobar esta hipótesis en nogal pecanero. Se generaron seis conjuntos de normas DRIS a partir de una base de datos de 484 observaciones de análisis foliar y rendimiento. Para ello se dividió esta población seis veces en dos subpoblaciones tomando como límite, en cada caso, los siguientes rendimientos: 25, 35, 40, 50, 60 y 70 kg árbol⁻¹. Los resultados indican que estos límites de rendimiento no fueron críticos, ya que aunque los valores de las normas DRIS (\bar{X}) variaron, se confirmó su

validez, al predecir el comportamiento de dos experimentos. Sin embargo, se establece que las mejores normas DRIS para nogal pecanero, son las que tienen un límite alto de rendimiento, para dividir las dos subpoblaciones (60 kg árbol⁻¹), este límite ubica a un 11.8% de observaciones como de alto rendimiento, valor cercano al recomendado para este tipo de trabajo.

SUMMARY

The hypothesis exists that the limit of yield to divide a data base in two subpopulations (low and high yield) to generate the DRIS norms is not so critical provided that the data collected present a normal distribution. The resulting mean (\bar{X}) value or norm would be always the same. This hypothesis was tested on pecan tree. The DRIS norms on 484 observations of leaf analysis and yield were divided according to six limits of yield: 25, 35, 40, 50, 60 and 70 kg tree⁻¹ to produce six groups of data each one with two subpopulations. The results indicated that these limits of yield were not so critical. Although the values of the DRIS norms (\bar{X}) varied, it was possible to corroborate their validity to predict the behaviour of two experiments. DRIS norms created by using a

Recibido 6-91.

high limit of yield (60 kg tree^{-1}) were considered to be the best to divide the two subpopulations of pecan tree; this yield limit allocated an 11.8% of the observations of high yield class as recommended.

INTRODUCCION

El Sistema Integrado de Diagnóstico y Recomendación (DRIS), propuesto por Beaufils (1973), se ha usado como una metodología de diagnóstico nutrimental en varios cultivos. Las normas DRIS son las medias (\bar{X}) de relaciones o formas de expresión de la composición del tejido foliar, con sus respectivas varianzas y coeficientes de variación, de una subpoblación de observaciones de alto rendimiento. Las formas de expresión (N/P o P/N) que tienen la relación de varianza mayor entre las dos subpoblaciones de bajo y alto rendimiento son seleccionadas como normas (Letzsch, 1985).

El valor límite real usado para dividir los grupos de bajo y alto rendimiento no es tan crítico, mientras los datos de alto rendimiento permanezcan distribuidos normalmente (Walworth y Sumner, 1987), ya que el valor de la media (\bar{X}) o norma DRIS es el mismo. Letzsch y Sumner (1984) indican que este valor límite se puede elegir arbitrariamente. En la práctica representa generalmente los rendimientos que obtienen rutinariamente los mejores productores.

En maíz, el valor límite para dividir bajos y altos rendimientos, varió de 7 a 9 ton ha^{-1} y los valores promedio para las expresiones o normas para N/P, N/K y P/K, variaron solamente: 6.7, 4.8 y 2.4%, respectivamente (Letzsch y Sumner, 1984). Sin embargo, estos autores indican que las mejores normas DRIS, son las que tienen un gran número de observaciones (varios miles) obtenidas al azar, con un límite alto de rendimiento para dividir las dos subpoblaciones (de bajo y alto rendimiento) y que tengan al menos un 10% de observaciones de alto rendimiento.

El rendimiento medio regional en la Comarca Lagunera y a nivel nacional de nogal pecanero, es de 1 ton ha^{-1} de nuez, las mejores huertas producen de 2 a 2.5 ton ha^{-1} . Sin embargo, el potencial de este cultivo en la región es de 3.3 ton ha^{-1} , en árboles de 11-20 años (Medina, 1990). Como la mayoría de las huertas están plantadas a $12 \times 12 \text{ m}$, 70 árboles ha^{-1} , el rendimiento óptimo sería de 50 kg árbol^{-1} y un total de 3.5 ton ha^{-1} .

Las normas DRIS para nogal pecanero se generaron con 484 observaciones de análisis foliar y rendimiento por árbol, de dos regiones: Comarca Lagunera (Coahuila y Durango) y Norte de Coahuila. El límite de rendimiento para dividir las dos subpoblaciones fue de 35 kg árbol^{-1} (Medina y Medina, 1989); sin embargo, no se ha evaluado cual es el límite de rendimiento más alto para dividir las dos subpoblaciones, que genere un grupo de normas DRIS más adecuadas y precisas y que coincida con lo propuesto por Letzsch y Sumner (1984), es decir que debe existir un límite alto de rendimiento y al menos un 10% de observaciones de alto rendimiento.

También es necesario probar la hipótesis de que el valor de la media (\bar{X}) o normas DRIS, sea el mismo o varíe muy poco con diferentes límites de rendimiento para dividir las dos subpoblaciones, como lo indican Walworth y Sumner (1987).

Además, como lo señala Sumner (1986), para verificar si las normas DRIS establecidas son capaces de realizar diagnósticos válidos, es necesario probarlas con datos experimentales independientes, en donde la respuesta de rendimiento haya sido obtenida para un nutrimento particular bajo estudio. Si los índices son capaces de predecir el patrón de comportamiento observado en el experimento, resulta la confirmación de las normas.

Por lo tanto, el objetivo de este estudio fue evaluar, en nogal pecanero, el efecto de límite de rendimiento, al dividir las dos subpoblaciones de las normas DRIS.

MATERIALES Y METODOS

El banco de 484 observaciones se generó con datos colectados durante los años 1987, 1988 y 1989, mediante muestreos y a través de experimentos realizados en 48 huertas. La Comarca Lagunera y la Región Norte de Coahuila aportaron al banco 393 y 91 observaciones de análisis foliar y rendimiento por árbol, de nogal pecanero cv 'Western', respectivamente.

Los límites de rendimiento, seleccionados para dividir los datos del banco en seis grupos con dos subpoblaciones cada uno, fueron 25, 35, 40, 50, 60 y 70 kg árbol⁻¹. El porcentaje de observaciones de alto rendimiento en cada caso fue de 66.7, 49.6, 39.2, 22.3, 11.8 y 5.9, respectivamente (Cuadro 1).

Las normas e índices DRIS, fueron calculados de acuerdo a la metodología propuesta por Beaufils (1973), Letzsch (1985) y Sumner (1986); con dos programas de computadora elaborados por Sánchez (1988 y 1988a) se compararon las formas de expresión (N/P, CaxMg etc.) y los valores de las normas (\bar{X}) de los seis grupos, para observar la variación con el límite de rendimiento.

Los seis grupos de normas DRIS se probaron en dos experimentos independientes, en los que hubo respuesta a la aplicación de nutrientes tanto en concentración como en rendimiento; se evaluó si las normas DRIS predecían el comportamiento de los nutrientes en los

árboles tratados y si el límite de rendimiento empleado en su generación no afectaba los resultados de la evaluación. Estos experimentos fueron: (1) aplicación de 0, 1000, y 2000 ppm de Mn a árboles en producción cv Western de 14 años; se realizaron cuatro aplicaciones foliares de MnSO₄, de abril a junio (Medina y Aguilar, 1990) y (2) aplicación de 0, 500, 1000, 1500 y 2000 ppm de Mn a árboles en desarrollo cv 'Western' de 6 años. Se realizó una aplicación foliar de MnSO₄ en mayo.

La evaluación de los seis grupos de normas en los dos experimentos, se realizó de la siguiente manera: (a) se calculó el índice DRIS de cada nutriente en los varios tratamientos; (b) se calculó el Índice de Desbalance Nutricional (IDN) sumando los valores absolutos de todos los índices; (c) se estableció el Orden de Requerimientos Nutrientales (ORN) o prioridad de deficiencias, y (d) se evaluó el efecto del tratamiento en los índices DRIS, ORN, IDN y rendimiento; puesto que a menor IDN corresponde un mayor rendimiento (Davee *et al.*, 1986).

RESULTADOS Y DISCUSION

La aplicación de seis grupos de normas a los dos experimentos resultó en 12 diagnósticos. Sin embargo, debido al espacio, solo se presentan dos cuadros con los resultados de la prueba de las normas DRIS generadas con límite de rendimiento de 60 kg

Cuadro 1. Normas DRIS con seis límites de rendimiento para dividir las dos subpoblaciones (de bajo y alto rendimiento), en nogal pecanero cv 'Western'.

Normas DRIS	Límite de rend. (kg árbol ⁻¹)	Número de observaciones		Observaciones Alto rend. (%)
		Bajo rend.	Alto rend.	
1	25	161	323	66.7
2	35	244	240	49.6
3	40	294	190	39.2
4	50	376	108	22.3
5	60	427	57	11.8
6	70	457	27	5.9

árbol⁻¹ en ambos experimentos. El resto de los resultados, (prueba de normas con límites de rendimiento de 25, 35, 40, 50 y 70 kg árbol⁻¹, para los dos experimentos), se presentan resumidos (índices DRIS e IDN).

Lo anterior se hizo para comprobar que el límite de rendimiento no cambiaba el valor o la tendencia de los índices DRIS y el IDN y que la predicción de los dos experimentos ocurre, independientemente de este límite.

Cuadro 2. Normas DRIS (\bar{X})¹ para nogal pecanero cv 'Western' generadas con diferentes rendimientos límites para dividir el banco de datos en subpoblaciones de bajo y alto rendimiento.

Forma de expresión ²⁾	Límite de rendimiento (kg árbol ⁻¹)											
	25		35		40		50		60		70	
P, K	A	0.09	A	0.10	A	0.10	A	0.10	C	9.39	C	9.19
P, Ca	B	0.20	B	0.21	B	0.21	B	0.22	B	0.22	B	0.22
P, Mg	B	0.05	B	0.05	B	0.05	B	0.05	B	0.05	B	0.05
P, Fe	B	16.05	B	16.97	B	17.45	B	18.56	B	17.02	B	15.45
P, Mn	B	13.07	B	13.48	B	13.96	B	15.29	B	13.81	B	10.94
P, Zn	C	485.08	C	494.39	C	501.02	C	551.88	C	549.25	C	606.25
P, Cu	C	60.85	C	62.39	C	64.48	C	66.28	C	65.20	C	64.61
P, B	C	871.65	C	834.25	C	788.48	C	739.82	C	705.93	C	696.97
P, N	A	0.05	A	0.05	A	0.05	C	18.24	C	17.94	C	18.48
K, Ca	B	2.13	B	2.14	B	2.14	B	2.17	B	2.12	B	1.98
K, Mg	B	0.50	B	0.51	B	0.51	B	0.52	B	0.50	B	0.46
K, Fe	B	168.29	B	175.69	B	178.76	B	183.26	B	162.76	B	145.94
K, Mn	B	135.50	B	139.00	B	141.59	B	147.66	B	129.14	B	97.80
K, Zn	A	0.02	A	0.03	A	0.02	A	0.02	A	0.02	C	64.95
K, Cu	A	0.19	A	0.18	A	0.17	A	0.16	A	0.15	A	0.15
K, B	C	82.81	C	80.87	C	77.39	C	76.44	C	77.79	C	79.11
K, N	A	0.55	A	0.55	C	1.88	A	0.54	A	0.53	A	0.50
Ca, Mg	A	4.46	A	4.40	C	0.24	A	4.31	A	4.38	A	4.43
Ca, Fe	C	78.05	C	81.09	C	82.50	C	82.99	C	75.64	C	72.02
Ca, Mn	A	0.02	A	0.02	A	0.02	C	0.02	C	60.85	C	50.05
Ca, Zn	B	101.31	B	104.72	B	106.95	B	124.06	B	122.93	B	130.13
Ca, Cu	B	12.19	B	12.72	B	13.33	B	14.60	B	14.64	B	13.97
Ca, B	B	172.73	B	168.13	B	161.06	B	161.43	B	159.11	B	148.04
Ca, N	B	3.89	B	3.89	B	3.89	B	4.00	B	4.04	B	3.98
Mg, Fe	C	330.65	C	341.44	C	346.04	C	348.77	C	320.74	C	302.75
Mg, Mn	C	281.81	C	285.40	C	288.15	C	293.53	C	262.05	C	213.80
Mg, Zn	B	24.27	B	25.25	B	25.89	B	29.73	B	29.28	B	30.74
Mg, Cu	B	2.90	B	3.05	B	3.21	B	3.51	B	3.49	B	3.30
Mg, B	B	41.94	B	41.30	B	40.01	B	39.85	B	38.84	B	36.43
Mg, N	B	0.91	B	0.92	B	0.92	B	0.95	B	0.95	B	0.92
Fe, Mn	A	1.79	A	1.75	A	1.69	C	0.86	C	0.82	C	0.70
Fe, Zn	B	8390.94	B	9027.64	B	9442.23	B	10844.00	B	9546.01	B	9821.96
Fe, Cu	B	967.34	B	1046.01	B	1114.25	B	1221.15	B	1110.07	B	1015.85
Fe, B	B	13802.33	B	14088.02	B	13966.59	B	14010.23	B	12483.53	B	11644.56
Fe, N	B	229.88	B	313.30	B	318.35	B	327.92	B	299.37	B	279.87
Mn, Zn	B	6118.96	B	6466.03	B	6781.18	B	8072.77	B	7018.87	B	5748.18
Mn, Cu	B	783.15	B	837.05	B	890.24	B	1001.28	B	896.91	B	686.11
Mn, B	B	10906.02	B	10789.69	B	10717.83	B	10996.28	B	9782.35	B	8085.41
Mn, N	B	246.30	B	251.76	B	256.14	B	269.92	B	241.92	B	192.98
Zn, Cu	C	0.15	A	8.29	A	7.97	C	0.14	A	8.46	C	0.11
Zn, B	A	0.68	C	2.10	C	1.97	C	1.68	C	1.65	C	1.36
Zn, N	C	0.05	C	0.05	C	0.04	C	0.04	C	0.04	C	0.03
Cu, B	A	0.08	C	14.34	C	13.10	C	12.16	C	11.78	C	12.01
Cu, N	C	0.35	C	0.34	C	0.32	C	0.30	C	0.30	C	0.32
B, N	C	0.02	C	0.03	C	0.02	C	0.02	A	39.92	A	38.55

Relación de nutrientes: P,K: A=P/K; C=K/P; B=P.Ca

1) Basado en población de altos rendimientos: >25, 35, 40, 50, 60 ó 70 kg árbol⁻¹

2) Macronutrientes en % y micronutrientes en ppm, con base en peso seco.

En el Cuadro 2 se presentan los valores de las normas DRIS (\bar{X}) obtenidos al emplear los seis límites de rendimiento. Veinticuatro expresiones de nutrimentos son productos (PxMg) y 21 son cocientes (P/K o K/P). De los 21 cocientes, 10 tienen la misma expresión (ejemplo: P/K o K/P) y 11 tienen las dos expresiones (ejemplo: P/K y K/P) en los seis grupos de normas con proporciones de 5:1, 4:2 y 3:3.

Las normas cambiaron de valor al variar el límite de rendimiento empleado para dividir a la población, lo cual no coincide con lo que indican Walworth y Sumner (1987). Se calculó el porcentaje de variación de cada expresión tomando como 100% el límite superior (18.56) del intervalo de valores de las normas (ejemplo: P.Fe = 15.45 - 18.56). Para los productos se tuvo variaciones desde 3.71% hasta 33.76% y el promedio general fue de 19.47%. Para los cocientes, la variación fue de 2.12% hasta 35.23% y el promedio general fue de 15.45%, lo que no coincide con lo reportado por Letzsch y Sumner (1984) para el caso del maíz. Estos autores encontraron variaciones más pequeñas (de 2.4% a 6.7%). En el presente estudio se justifica una mayor variación porque se analizaron 10 nutrimentos que dan 45 expresiones (productos y cocientes) y además se evaluaron seis límites de rendimiento. Sin embargo, independientemente

de las diferencias que mostraron las normas DRIS en los seis grupos, se realizó la prueba de validación con datos de dos experimentos.

Al probar las normas correspondientes al grupo que se generó con límite de rendimiento de 60 kg árbol⁻¹ en el experimento de respuesta a la aplicación Mn en árboles en producción (Cuadro 3), resultó que los árboles mostraban al Mn como el nutrimento más requerido o deficiente. Al aplicar 1000 ppm de Mn el índice DRIS de Mn se redujo de -46 a 6, lo que indica una respuesta y sensibilidad del índice. El rendimiento en este tratamiento fue el mayor (28.5 kg árbol⁻¹) y el IDN el menor (52). El Mn pasó a un nivel de suficiencia en el ORN por lo tanto se juzgó que este era el mejor tratamiento y ello se logró predecir con estas normas.

Al probar los otros grupos de normas DRIS, generadas con límites de rendimiento 25, 35, 40, 50 y 70 kg árbol⁻¹ (Cuadro 4), ocurrió una tendencia similar a la observada en la anterior. Aunque los valores varían, los del tratamiento con Mn donde hubo mayor respuesta en rendimiento (1000 ppm) coincide con el valor menor del índice DRIS para Mn y con el menor IDN como lo indican Davee *et al.* (1986). El ORN establecido para cada tratamiento con las normas anteriores fue el mismo que aquél establecido con las normas con

Cuadro 3. Efecto de manganeso en el rendimiento, índice DRIS de Mn e Índice de desbalance nutricional, con 60 kg árbol⁻¹ como límite para dividir las dos subpoblaciones de las normas DRIS, en nogal pecanero cv 'Western' en producción.

Trat.Mn (ppm)	Nutrimentos										Rend. kg árbol ⁻¹	IDN	Orden de requerimientos
	%					ppm							
	N	P	K	Ca	Mg	Fe	Mn	Zn	Cu	B			
0	2.2	0.10	1.2	2.3	0.43	97	33	57	7	103	30.3 C	106	Mn>P>Cu>Fe>Zn>N>K>B>Mg>Ca
	-4 ¹⁾	-15	-2	15	4	-7	-46	-5	-8	1			
1000	2.2	0.09	1.1	1.9	0.43	98	148	52	6	101	28.5 A	52	Fe>P>Cu>Mg>Zn>Ca>K>N>B>Mn
	3	-12	1	-1	-3	-13	6	-2	-6	5			
2000	2.3	0.10	1.1	1.6	0.43	90	165	48	6	91	22.5 B	59	Fe>P>Ca>Cu>Zn>Mg>K>B>N>Mn
	3	-8	-1	-7	-2	-15	9	-5	-7	2			

1) Índice nutricional.
Nivel de significancia: 5%.

IDN = Índice de desbalance nutricional.

Cuadro 4. Efecto de manganeso en el rendimiento, índice DRIS de Mn e Índice de desbalance nutrimental con seis límites de rendimiento para dividir las 2 subpoblaciones de las normas DRIS, en nogal pecanero cv 'Western' en producción.

Tratamiento Mn (ppm)	Rend. kg árbol ⁻¹	Índice DRIS de manganeso						Índices de desbalance nutrimental					
		Límite de rendimiento (kg árbol ⁻¹)						Límite de rendimiento (kg árbol ⁻¹)					
		25	35	40	50	60	70	25	35	40	50	60	70
0	20.3 C	-35	-37	-40	-47	-46	-26	87	94	101	114	106	76
1000	28.5 A	6	5	5	4	6	9	35	36	40	50	52	55
2000	22.5 B	9	8	8	7	9	12	42	45	47	58	59	62

límite de 60 kg árbol⁻¹. Por lo tanto se concluye que el límite de rendimiento escogido para generar las normas DRIS no afecta la predicción del comportamiento de este experimento.

La aplicación de las normas DRIS (límite de rendimiento de 60 kg árbol⁻¹) al experimento de árboles en desarrollo (Cuadro 5), muestra al Zn como el elemento más requerido o deficiente en el tratamiento testigo y enseguida al Mn. Conforme se aumentan las dosis de Mn aplicadas, se reducen los índices DRIS. Por ejemplo en el tratamiento con 2000 ppm de Mn, el índice DRIS fue -10 y el IDN 164, mientras que en los testigos sin Mn estos habían sido -76, 261, respectivamente. El Mn

pasa al 4o. lugar en el ORN y este es el mejor tratamiento, ya que redujo los índices, tiene el IDN menor y el Mn se ubica en un nivel de suficiencia.

El Zn era el elemento más deficiente y los índices se redujeron al aplicar Mn, pero siempre siguió siendo el más requerido en los cinco tratamientos. No se aplicó Zn en este experimento a pesar de ser la deficiencia más común en nogal pecanero en suelos calcáreos, por lo que tienen que aplicarse cada año (O'Barr, 1977).

La prueba de las otras normas DRIS generadas en este estudio (Cuadro 6) en este

Cuadro 5. Efecto de manganeso en los índices DRIS e Índice de desbalance nutrimental, con 60 kg árbol⁻¹ como límite para dividir las dos subpoblaciones de las normas DRIS, en nogal pecanero cv 'Western' en desarrollo.

Trat.Mn (ppm)	Nutrimentos								IDN	Orden de requerimientos
	%				ppm					
	P	K	Ca	Mg	Fe	Mn	Zn	Cu		
0	0.09 -3 ¹⁾	0.78 -12	2.21 1	0.32 -31	95 -23	36 c -76	12 -89	4 -25	261	Zn>Mn>Mg>Cu>Fe>K>P>Ca
500	0.09 1	0.79 -5	2.47 1	0.33 -34	99 -26	56 b -46	11 -83	4 -17	212	Zn>Mn>Mg>Fe>Cu>K>P>Ca
1000	0.10 1	0.83 -9	1.96 -6	0.27 -38	108 -15	70 b -25	13 -74	6 -1	169	Zn>Mg>Mn>Fe>K>Ca>P>Cu
1500	0.09 -2	0.83 -3	2.19 -5	0.29 -39	107 -20	91 a -18	12 -72	5 -5	164	Zn>Mg>Fe>Mn>Cu>Ca>K>P
2000	0.09 -7	0.92 -1	1.93 -9	0.27 -42	100 -21	107 a -10	13 -67	5 -7	164	Zn>Mg>Fe>Mn>Ca>Cu>P>K

1). Índice nutrimental.
Nivel de significancia: 5%.

IDN = Índice de desbalance nutrimental.

Cuadro 6. Efecto de manganeso en la concentración foliar, índices DRIS de Mn e Índice de desbalance nutrimental, con 6 límites de rendimiento para dividir las 2 subpoblaciones de las normas DRIS, en nogal pecanero cv 'Western' en desarrollo.

Tratamiento Mn (ppm)	Concentración Mn (ppm)	Índice DRIS de Manganeso						Índice de desbalance nutrimental					
		Límite de rendimiento (kg árbol ⁻¹)						Límite de rendimiento (kg árbol ⁻¹)					
		25	35	40	50	60	70	25	35	40	50	60	70
0	36 C	-58	-63	-67	-81	-76	-50	200	218	233	287	261	234
500	56 B	-34	-37	-40	-49	-46	-29	162	176	188	230	212	218
1000	70 B	-19	-20	-22	-28	-25	-15	129	139	145	183	169	187
1500	91 A	-13	-14	-15	-21	-18	-10	118	128	138	176	164	184
2000	107 A	-6	-8	-9	-13	-10	-4	114	127	136	174	164	180

segundo experimento con árboles en desarrollo, mostró una tendencia similar a la prueba con las normas con límite de 60 kg árbol⁻¹. Aunque los índices DRIS varían, en el tratamiento donde hubo respuesta a la aplicación de 2000 ppm de Mn, coinciden con el índice DRIS para Mn y el IDN (menor) y el ORN de los tratamientos arrojó los mismos resultados que con las normas con límite de 60 kg árbol⁻¹. Por lo tanto, el límite de rendimiento empleado para generar las normas DRIS tampoco afectó la predicción del comportamiento de este experimento.

Estos resultados indican que aunque los valores de las normas (\bar{X}) varían al usar diferentes límites de rendimiento para dividir el banco de datos en dos subpoblaciones (Cuadro 2), las consecuencias no son críticas, como lo señalan Walworth y Sumner (1987). Se logró confirmar la validez de las normas, al predecir el comportamiento de dos experimentos como lo indica Sumner (1986). Sin embargo, las mejores normas DRIS para nogal pecanero, son las que se generan considerando sólo la población de más alto rendimiento (60 kg árbol⁻¹ de nuez en este caso) ya que esta subpoblación contiene más del 10% de observaciones del total con alto rendimiento (11.8%), como lo recomiendan Letzsch y Sumner (1984).

CONCLUSIONES

La selección de un límite de rendimiento (25, 35, 40, 50, 60 y 70 kg árbol⁻¹), para

dividir un banco de datos con dos subpoblaciones y así poder generar normas DRIS para nogal pecanero, no fue crítica y aunque los valores de los seis grupos de normas variaron, se logró confirmar su validez al predecir el comportamiento de dos experimentos, independientemente del límite de rendimiento.

Las mejores normas DRIS para nogal pecanero, son las que se produjeron al seleccionar un alto rendimiento (60 kg árbol⁻¹); de esta manera la subpoblación de altos rendimientos contuvo a más del 10% del total de observaciones del banco, como se recomienda.

LITERATURA CITADA

- BEAUFILS, E.R. 1973. Diagnosis and recommendation integrated system (DRIS). A general scheme for experimentation and calibration based on principles developed from research in plant nutrition. Soil Sci. Bull. No. 1. University of Natal, South Africa.
- DAVEE, D.E., T.L. RIGHETTI, E. FALLAHI y S. ROBINSON. 1986. An evaluation of the DRIS approach for identifying mineral limitations on yield in 'Napoleon' sweet cherry. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 111(6): 988-993.

LETZSCH, W.S. 1985. Compute program for selection of norms used in the diagnosis and recommendation integrated system (DRIS). *Commun. in Soil Sci. Plant Anal.* 16: 339-347.

LETZSCH, W.S. y M.E. SUMNER. 1984. Effect of population size and yield level in selection of Diagnosis and recommendation integrated system (DRIS) norms. *Commun. in Soil Sci. Plant Anal.* 15(9): 997-1006.

MEDINA M., M.D.C. 1990. Diagnóstico nutrimental con el método DRIS, de nogal pecanero, en la Comarca Lagunera. 10a. Convención de nogaleros. *Memorias. Delicias Chihuahua.* pp. 274-283.

MEDINA M., M.D.C. y E.D.J. MEDINA M. 1989. Evaluación de 8 conjuntos de normas DRIS para nogal pecanero, en la Comarca Lagunera y Norte de Coahuila. Informe de Investigación de Fruticultura. CIFAP-Región Lagunera-INIFAP.

MEDINA M., E.D.J. y J.H. AGUILAR P. 1990. Curva de respuesta a Manganeseo en nogal pecanero en el Norte de Coahuila. XXIII Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo. Resumen. Comarca Lagunera. pp. 76.

O'BARR, D. 1977. Nutrients: their impact. *The pecan quarterly* 11(4): 4-10.

SANCHEZ V., L.R. 1988. Programa Fortran generalizado para el cálculo de las normas DRIS. Informe de Investigación de Cómputo y Estadística. CIFAP-Región Lagunera-INIFAP.

SANCHEZ V., L.R. 1988a. Programa Basic para calcular los índices DRIS. Informe de Investigación de Cómputo y Estadística. CIFAP-Región Lagunera-INIFAP.

SUMNER, M.E. 1986. The Diagnosis and recommendation integrated system (DRIS) as a guide to orchard fertilization. Food and Fertilizer Technology Center. *Extensión Bull.* No. 231.

WALWORTH, W.L. y M.E. SUMNER. 1987. The Diagnosis and recommendation integrated system (DRIS). *Advances in Soil Science.* (6): 149-188.

**INOCULACION DE *Bradyrhizobium japonicum* EN DIFERENTES
VARIETADES DE SOYA (*Glycine max* L.)**

**Inoculation of *Bradyrhizobium japonicum* in Different
Soybean Varieties (*Glycine max* L.)**

**R.M. Ramírez Gama¹⁾, G. Meza F.¹⁾, G. Hernández S.¹⁾,
G. Tsuzuki-Reyes¹⁾ y G. Valencia²⁾**

Laboratorio de Microbiología Experimental, Departamento de Biología¹⁾,
Facultad de Química, UNAM, 04510 México, D.F.

Departamento de Estadística, Facultad de Ciencias, UNAM²⁾,
04510 México, D.F.

**Palabras clave: Fijación de nitrógeno,
Simbiosis efectivas, Especificidad.**

**Index words: Nitrogen fixation, Effective
symbiosis, Specification**

RESUMEN

En este trabajo se evaluó la respuesta de siete variedades de soya (*Glycine max*) a la inoculación con catorce cepas de *Bradyrhizobium japonicum* a fin de determinar asociaciones óptimas, seleccionar las cepas de *Bradyrhizobium japonicum* que fueran efectivas en el mayor número de variedades de soya estudiadas y seleccionar las variedades del hospedero que establecieran simbiosis efectivas con el mayor número de cepas probadas.

Los experimentos se realizaron en sistemas hidropónicos, bajo condiciones de invernadero; la cosecha se realizó al inicio de la floración; se determinó el peso seco de la masa nodular y de la parte aérea y el contenido de nitrógeno.

Los resultados indican que con todas las variedades se obtuvieron asociaciones efectivas con una o más de las cepas probadas. Las cepas FQ 17 y FQ 18 funcionaron mejor con la mayoría de las variedades en estudio, encontrándose también que las variedades BM-2, Júpiter y Cajeme establecieron simbiosis efectivas con el mayor número de cepas probadas.

SUMMARY

This work evaluates the response of seven soybean (*Glycine max*) varieties to inoculation with fourteen strains of *Bradyrhizobium japonicum* in order to determine optimum associations; furthermore a selection of effective strains of *Bradyrhizobium japonicum* was carried out on the greatest number of soybean varieties studied and then a selection of host was done so that effective symbiosis could take place with the greatest number of studied strains.

The experiments were carried out in hydroponic systems, under greenhouse conditions. The harvest was done at the beginning of the flowering process; dry weight of the nodular mass and aerial part was determined as well as the contents of nitrogen.

Recibido 4-91.

The results show that it is possible to obtain effective associations with one or more of the strains tried in all varieties assayed. The strains FQ 17 and FQ 18 were the ones that worked best with the greatest number of the varieties studied. It was found also that the varieties BM-2, Júpiter and Cajeme established effective symbiosis with the greatest number of approved strains.

INTRODUCCION

La soya es una leguminosa de gran importancia a nivel mundial, debido a sus propiedades alimenticias e industriales y porque constituye una alternativa para conservar y mejorar la fertilidad del suelo.

En México, el cultivo de la soya se estableció comercialmente en 1958; a partir de entonces, aumentó la superficie dedicada a este cultivo así como los recursos para investigar y resolver los problemas que limitan su producción. Lo anterior condujo a su introducción en diversas áreas del trópico húmedo y seco, a su cultivo bajo condiciones de riego y temporal, a la obtención de variedades mexicanas de alto rendimiento y madurez uniforme, resistentes al acame, al desgrane, a enfermedades y plagas y al establecimiento de sistemas de producción mediante la determinación de fechas, métodos y densidades de siembra, empleo de fertilizantes y de inoculantes (Crispín y Barriga, 1975).

Respecto a los ensayos de inoculación, los resultados son muy variables. Estudios realizados en Puebla, Chihuahua y Sonora reportan aumentos en el rendimiento de grano/ha de 33, 96 y 28% (Ferrera y Jalpa, 1980; García y Moncada, 1969; Trujillo, 1981), mientras que en Tamaulipas se indica que no hay respuesta a los inoculantes comerciales (García *et al.*, 1981; Nieto J., 1985 Comunicación personal).

Lo anterior no es sorprendente si se considera que el éxito económico de esta práctica agrícola, depende del establecimiento de una simbiosis efectiva entre *Bradyrhizobium japonicum* y *Glycine max*, la que es regulada

por las características genéticas de ambos simbioses y por los factores ambientales (Caldwell y Vest, 1968; 1970).

Con un sentido práctico, los fabricantes de inoculantes basan su producción en la utilización de cepas seleccionadas, que deben ser específicas para la leguminosa de interés y altamente efectivas (Burton, 1975). Sin embargo, no debe olvidarse que la fijación de nitrógeno en leguminosas es la culminación de una compleja interacción entre la bacteria y el hospedero, los que regulan el reconocimiento, la adsorción superficial, el proceso de infección, la iniciación y desarrollo de los nódulos y la fijación de nitrógeno (Graham, 1984).

Las cepas de *Bradyrhizobium japonicum* difieren en su capacidad para nodular y fijar nitrógeno (Vest *et al.*, 1973). La elevada efectividad de las cepas se ha relacionado con otras características de las mismas, como son: la capacidad de producir más asparagina y glutamina (Döbereiner *et al.*, 1970), de acumular menor cantidad de 4-aminobutirato en los nódulos (Freney y Gibson, 1974), de utilizar más eficientemente la energía de los fotosintatos (Havelka y Hardy, 1976), de poseer el gene *Hup*⁺ que determina la síntesis de la hidrogenasa, la que cataliza la disociación del hidrógeno molecular formado durante la reducción del dinitrógeno, recirculando entonces los protones y electrones generados y eliminando de esta manera el desperdicio de energía, lo que determina una mayor efectividad en este tipo de cepas (Hanus *et al.*, 1981).

En relación al macrosimbionte, se sabe que algunas variedades poseen características genéticas que limitan la nodulación; tal es el caso de las variedades de soya T181 y T201 que son incapaces de nodular con diversas cepas efectivas de *Bradyrhizobium japonicum* (Devine y Breithaupt, 1980). Por otra parte se indica que la fijación de nitrógeno es fuertemente influenciada por el hospedero, ya que es éste el que aporta la energía necesaria para el proceso así como el esqueleto de carbono requerido para la síntesis de aminoácidos

(Havelka y Hardy, 1976). También se ha demostrado que la actividad de la hidrogenasa producida por la bacteria es regulada por la planta hospedera (Dixon, 1972; Gibson et al., 1981). Lo anterior indica claramente que en la tasa de fijación de nitrógeno intervienen de manera decisiva diversos genes bacterianos y de la planta; así mismo, explica en gran parte, que algunas cepas de *Bradyrhizobium japonicum* con ciertas variedades de *Glycine max*, den lugar al establecimiento de simbiosis más efectivas (Péres y Vidor, 1980, Vidor et al., 1972).

Si se tienen en cuenta estos aspectos, Danso et al., (1987) concluyen que en la naturaleza existe una gran diversidad genética de leguminosas y cepas de *Rhizobium* y que estos recursos biológicos pueden ser explotados para mejorar significativamente los niveles de fijación de nitrógeno actuales.

De este modo en la práctica de inoculación debe considerarse no sólo el empleo de cepas seleccionadas, sino también las características del hospedero para eliminar riesgos de incompatibilidad que se traduzcan en asociaciones inefectivas.

Si se toman en consideración lo anterior y el hecho que en México se cultivan numerosas variedades de soya, en el presente trabajo se establecieron los siguientes objetivos: comprobar la eficiencia de cepas de *Bradyrhizobium japonicum* de diferente origen; seleccionar simbiosis efectivas entre diferentes cepas y algunas de las variedades de soya que se cultivan en México; seleccionar cepas que sean efectivas con el mayor número de variedades de soya estudiadas y seleccionar variedades de soya que establezcan simbiosis efectivas con el mayor número de cepas probadas.

MATERIALES Y METODOS

En condiciones de invernadero se determinó el efecto de catorce cepas de *Bradyrhizobium japonicum* sobre el desarrollo de siete variedades de *Glycine max*. Con el objeto de

comparar el efecto de las cepas en cada una de las variedades por separado se montaron siete experimentos con 16 tratamientos cada uno, que corresponden: del 1 al 14 a la inoculación individual de las cepas, el tratamiento 15 sin inoculante y con 70 ppm de nitrógeno o testigo positivo y el 16 sin inoculante y sin nitrógeno o testigo negativo. El diseño experimental fue de distribución completamente al azar, con tres repeticiones. La unidad experimental estuvo representada por una jarra de Leonard con dos plantas.

Se utilizaron semillas certificadas de soya, de las variedades Davis, Alamo, Cajeme, Bragg, UFV-1, BM-2 y Júpiter, estas fueron seleccionadas a mano para tener muestras uniformes y desinfectadas superficialmente con cloruro mercúrico (Vincent, 1970).

Las cepas fueron donadas por diversas instituciones a la colección de la Facultad de Química, UNAM, donde se conservaron en agar inclinado en el medio extracto de levadura manitol rojo congo, en refrigeración (Vincent, 1970). Las claves de las cepas se describen en el Cuadro 1.

Cuadro 1. Descripción de claves y procedencia de cepas empleadas.

Clave interna	clave sinónima	Institución donante
FQ 4	ENCB 515	Escuela Nacional de Ciencias Biológicas IPN
FQ 5	CC 711	CINVESTAV-Zacatenco, IPN
FQ 6	CC 717	CINVESTAV-Zacatenco, IPN
FQ 7	CP 21	Colegio de Postgraduados, Montecillo.
FQ 8	TAL 102	NIFTAL, Universidad de Hawaii
FQ 9	TAL 379	NIFTAL, Universidad de Hawaii
FQ10	TAL 411	NIFTAL, Universidad de Hawaii
FQ11	TAL 415	NIFTAL, Universidad de Hawaii
FQ12	SEMIA 532	IPAGRO, Brasil
FQ13	SEMIA 527	IPAGRO, Brasil
FQ16	SEMIA 587	IPAGRO, Brasil
FQ17	31 lb 110	Universidad Autónoma de Tamaulipas
FQ18	31 lb 136	Universidad Autónoma de Tamaulipas
FQ19	31 lb 143	Universidad Autónoma de Tamaulipas

Para la preparación de los inóculos, cada cepa se propagó en caldo extracto de levadura manitol, incubando a 28°C, en agitación durante 6 días. A los cultivos obtenidos, se les ajustó la densidad de población por nefelometría de McFarland a 1×10^9 células por mililitro, mediante la adición de medio de cultivo estéril hasta obtener lecturas de 125 Unidades Klett.

Como soporte se emplearon vermiculita exfoliada a un pH de 7.0 y la solución nutritiva de Jensen (Vincent, 1970). Las jarras se esterilizaron en autoclave durante 2 horas.

En condiciones de asepsia se colocaron cuatro semillas en cada jarra, una vez germinadas se hizo el raleo dejando en cada unidad dos plántulas, procediéndose a inocular cada plántula con 1.0 ml del cultivo correspondiente y a colocar las jarras en el invernadero.

La cosecha se realizó al inicio de la floración de cada una de las variedades; las plantas se cortaron al nivel de la corona de raíz, los nódulos se desprendieron de las raíces; los nódulos y la parte aérea fueron secados en estufa a 70°C durante tres días y se les determinó el peso. Las muestras de la parte aérea se molieron y pasaron a través de una malla del número 20; de cada muestra se tomaron 50 mg para determinar el contenido de nitrógeno (Mitchel, 1972).

El análisis estadístico se llevó a cabo para cada variedad, ajustando un modelo de análisis de varianza con un criterio de clasificación para describir el comportamiento observado de cada una de las variables de respuesta registradas (Hicks, 1973; Cochran y Cox, 1975).

La expresión del modelo corresponde a:

$$Y_{ij} = \mu + \tau_i + \epsilon_{ij}; \quad \begin{array}{l} i = 1, 2, \dots, a \\ j = 1, 2, \dots, n_i \end{array}$$

En este modelo la comparación de tratamiento se efectuó con la prueba de la

hipótesis $H_0: \tau_1 = \tau_2 = \dots = \tau_a$. Se utilizó un nivel de significancia $\alpha = 0.05$, se calculó el nivel de significancia descriptivo (nsd) para cada experimento (Méndez, 1978) y se usó la siguiente regla de decisión

Si $\alpha < nsd$ no se rechaza la hipótesis H_0
Si $\alpha > nsd$ se rechaza la hipótesis H_0

Cuando la hipótesis fue rechazada y se consideraron los efectos estadísticamente diferentes, se aplicó el procedimiento de comparaciones Múltiples o Contrastes de Scheffé (Hicks, 1973; Méndez, 1978).

RESULTADOS Y DISCUSION

Para evaluar el potencial de la fijación de nitrógeno en el sistema *Rhizobium*-leguminosas los criterios más frecuentemente usados corresponden al número de nódulos, masa nodular, materia seca, rendimiento y contenido de nitrógeno (Brockwell *et al.*, 1982).

Los resultados de los Cuadros 2, 3 y 4 permiten observar la especificidad y efectividad de las asociaciones en estudio, ya que todas las cepas inoculadas indujeron la formación de nódulos en todas las variedades probadas; así mismo se observa que en general, el peso seco y contenido de nitrógeno son mayores en los tratamientos inoculados que en los testigos negativos.

El análisis estadístico indica que en el peso seco de nódulos no hubo diferencias significativas para las variedades Alamo, Bragg, UFV-1 y BM-2 lo que demuestra la interespecificidad de las variedades y cepas en estudio. Se observa que la variedad BM-2 produce mayor masa nodular con la mayoría de las cepas.

Chamber (1982) reporta resultados similares con la variedad Amsoy y concluye que esto puede deberse a que esta variedad tenga mayor capacidad para originar nódulos. En relación a las variedades Davis, Cajeme y Júpiter, los niveles de significancia descriptivos

Cuadro 2. Peso seco de nódulos.

Clave de cepas	Variedades						
	Davis	Alamo	Cajeme	Bragg	UFV-1	BM-2	Júpiter
				mg/planta			
FQ 4	26	60	34	64	35	90	86
FQ 5	34	46	44	97	66	73	32
FQ 6	38	73	49	60	73	95	93
FQ 7	14	54	22	77	39	95	83
FQ 8	52	12	35	44	27	111	32
FQ 9	89	59	33	111	60	169	93
FQ10	62	21	66	67	41	93	39
FQ11	30	63	158	97	63	129	73
FQ12	45	73	29	35	50	107	87
FQ13	44	57	64	68	45	73	47
FQ16	18	61	128	87	54	141	66
FQ17	31	65	151	100	68	84	37
FQ18	41	90	95	47	54	56	55
FQ19	32	24	121	68	30	83	70
n.s.d.	0.0175	0.25	0.04	0.10	0.175	0.10	0.0005

Cuadro 3. Peso seco de parte aérea.

Clave de cepas	Variedades						
	Davis	Alamo	Cajeme	Bragg	UFV-1	BM-2	Júpiter
				g/planta			
FQ 4	.35	.86	.77	1.43	.51	1.51	1.08
FQ 5	.40	.88	1.41	1.48	.85	1.56	.98
FQ 6	.75	1.01	1.07	1.36	.91	1.60	1.33
FQ 7	.43	.83	.87	2.20	.76	2.00	1.38
FQ 8	.51	.80	1.25	1.63	.92	2.03	1.18
FQ 9	.63	.95	.86	1.70	1.10	1.76	1.53
FQ10	.86	.75	1.61	1.88	.75	1.64	.97
FQ11	.60	.56	1.56	1.88	.85	1.71	.85
FQ12	.78	1.10	1.08	1.03	.90	2.05	1.76
FQ13	.60	.87	1.35	1.73	.93	1.50	1.20
FQ16	.62	.67	1.55	1.88	.63	1.68	1.23
FQ17	.85	.87	1.25	2.10	1.05	1.68	1.40
FQ18	.46	1.38	1.46	1.66	.76	1.40	1.45
FQ19	.46	.65	.63	1.45	1.06	1.21	1.15
T +	.86	1.00	.55	.76	1.66	2.05	1.07
T -	.40	.73	.55		.62	1.26	.71
n.s.d.	0.075	0.25	0.0175	0.0175	0.175	0.175	0.0005

resultaron inferiores a 0.05, lo que permitió considerar que los tratamientos tienen efectos distintos. La prueba de Scheffé indicó que las cepas de mayor infectividad corresponden a FQ9 para la variedad Davis, FQ11 para la variedad Cajeme y FQ6 y FQ9 para la variedad Júpiter y las cepas que se comportaron como de

menor infectividad corresponden a FQ7 para las variedades Davis y Cajeme y las cepas FQ5 y FQ8 para la variedad Júpiter, no obstante, en estos tratamientos el contenido de nitrógeno resultó superior o igual al registrado en los testigos fertilizados lo que indica asociaciones eficientes. Estos resultados

Cuadro 4. Contenido de nitrógeno.

Clave de cepas	Variedades						
	Davis	Alamo	Cajeme	Bragg	UFV-1	BM-2	Júpiter
	mg/g de materia seca						
FQ 4	36.0	33.6	14.0	33.5	28.0	39.0	33.6
FQ 5	31.0	36.0	38.3	38.6	26.0	36.7	30.0
FQ 6	21.0	27.3	31.5	37.3	22.6	35.0	40.6
FQ 7	35.0	20.3	37.2	34.1	17.1	43.3	40.6
FQ 8	20.3	19.8	45.0	36.3	22.0	44.3	35.0
FQ 9	32.0	29.0	38.1	41.0	30.3	38.0	42.6
FQ10	33.0	21.3	29.1	40.3	19.3	29.5	30.3
FQ11	23.0	22.4	25.5	36.0	16.2	33.7	29.0
FQ12	31.5	33.0	34.3	37.0	30.3	39.0	40.0
FQ13	29.0	18.0	25.5	38.1	21.5	35.0	34.6
FQ16	19.5	25.5	31.0	38.6	25.8	37.3	35.6
FQ17	41.5	23.5	41.3	40.6	33.6	46.3	38.3
FQ18	26.0	28.1	40.8	36.6	38.0	48.7	38.5
FQ19	25.0	18.8	32.1	33.6	18.3	29.0	34.0
T +	34.0	34.5	13.5	31.6	32.2	22.6	34.0
T -	14.0	15.3	10.3		9.8	9.8	14.4
n.s.d.	0.0075	0.02	0.0005	0.25	0.0005	0.0005	0.0005

coinciden con lo reportado por otros investigadores quienes señalan que no hay correlación de la masa nodular con el peso seco y contenido de nitrógeno (Danso *et al.*, 1987; Kremer y Peterson, 1982; Vilela *et al.*, 1978). De este modo aun cuando el número de nódulos y masa nodular han sido empleados como valoración indirecta de la fijación de nitrógeno (Westermann y Kolar, 1978), Vilela *et al.* (1978) indican que la utilización de la nodulación como único parámetro para medir la eficiencia en la fijación de nitrógeno puede llevar a conclusiones erróneas. Danso *et al.* (1987) consideran que este criterio debe ser empleado con cautela en la selección final de cepas, en tanto que, en la selección inicial de una colección grande de cepas y de leguminosas este parámetro tiene gran utilidad, especialmente para descartar a las no fijadoras.

Respecto al peso seco de la parte aérea y contenido de nitrógeno, se tiene que estas valoraciones indirectas están estrechamente relacionadas con la tasa de fijación de nitrógeno por lo que se reportan correlaciones altamente significativas de estos parámetros (Danso *et al.*, 1987; Erdman y Means, 1952;

Kremer y Peterson, 1982; Péres y Vidor, 1980). Por lo que Kremer y Peterson (1982) indican que estos parámetros ofrecen un buen criterio para efectuar la selección de cepas.

En los Cuadros 3 y 4 se observa que el peso seco y contenido de nitrógeno son mayores en los tratamientos inoculados que en los testigos negativos lo que indica fijación de nitrógeno. En forma general se observa que los valores más altos de estos parámetros se registraron en los tratamientos inoculados con las cepas FQ17, FQ12, FQ18 y FQ9 y en las variedades BM-2, Bragg y Júpiter. En este estudio no se observa relación directa del peso seco y contenido de nitrógeno, sin embargo no es posible concluir sobre esto debido a que al final del experimento se presentó una plaga defoliadora que afectó algunas unidades experimentales lo que se tradujo en la alteración del peso seco de la parte aérea. Con base en lo anterior se tomó como criterio para clasificar a las asociaciones, el contenido de nitrógeno por gramo de materia seca, parámetro que refleja el grado de efectividad de la asociación.

Los resultados del análisis de varianza expuestos en el Cuadro 4 indican que en las variedades Davis, Cajeme, UFV-1, BM-2 y Júpiter los niveles de significancia descriptivos obtenidos son una fuerte evidencia para considerar el efecto de los tratamientos estadísticamente diferentes. En la variedad Alamo el valor aproximado de 0.02 sugiere que los tratamientos son distintos pero la evidencia no es contundente. Sin embargo, al efectuar las pruebas de comparaciones múltiples con el método de Scheffé, los resultados indican que al igual que en las otras variedades se formaron dos grupos estadísticamente distintos y un tercero que ocupa posiciones intermedias que no pueden distinguirse de los otros. En la variedad Davis los tratamientos que resultaron distintos son el testigo negativo y la cepa FQ17, el tercer grupo no puede distinguirse de los anteriores con un n.s.d. mayor de 0.6. En la variedad Alamo el testigo negativo resultó distinto en la cepa FQ5, el resto de los tratamientos son estadísticamente indistinguibles de los primeros con un n.s.d. mayor que 0.15. Para la variedad Cajeme, el testigo negativo, el testigo positivo y FQ4 son estadísticamente iguales entre sí con un n.s.d. mayor que 0.07 e inferiores al grupo formado por las cepas FQ8, FQ17, FQ18, FQ5 y F19 que también son iguales entre sí con un n.s.d. mayor que 0.06; el resto de los tratamientos forma un tercer grupo que no es distinguible de los anteriores. En la variedad UFV-1, el primer grupo está formado por las cepas FQ17 y FQ18 que son estadísticamente iguales entre sí, con un n.s.d. mayor que 0.5 y superiores al testigo negativo, el resto de los tratamientos no se distingue de los anteriores (n.s.d. mayor que 0.07). En BM-2 el testigo negativo y el positivo resultaron estadísticamente iguales con un n.s.d. mayor que 0.11; el grupo con mayor promedio de nitrógeno en follaje está formado por las cepas FQ18, FQ17, FQ8, FQ7, FQ12, FQ4, FQ9, FQ16, FQ5, FQ6, FQ13 y FQ11 que son estadísticamente iguales entre sí (n.s.d. mayor que 0.11); las cepas FQ10 y FQ19 no pueden distinguirse de ninguno de los grupos. En la variedad Júpiter el primer grupo está formado por el testigo negativo que

produce el promedio más bajo de nitrógeno en follaje, el segundo grupo que resulta estadísticamente superior al primero está formado por las cepas FQ9, FQ6, FQ7, FQ12, FQ17, FQ18, FQ8, FQ16 y FQ11 que son estadísticamente iguales entre sí.

De estos resultados se deriva que las asociaciones óptimas corresponden para la variedad Davis, la cepa FQ17; para la Alamo la cepa FQ5; para la Cajeme, las cepas FQ5, FQ8, FQ9 y FQ18; para la UFV-1, las cepas FQ11 y FQ18; para la BM-2, todas las cepas con excepción de la FQ10 y FQ19 y para la variedad Júpiter, todas las cepas con excepción de FQ4, FQ5, FQ10 y FQ11.

En el análisis estadístico de los resultados obtenidos en la variedad Bragg, no se encontró diferencia estadística entre tratamientos; es importante aclarar que en este caso no se incluyó testigo negativo y que el tratamiento de referencia corresponde al testigo fertilizado por lo que la obtención de resultados iguales en los tratamientos inoculados y en el tratamiento con nitrógeno, indican la fijación de este elemento. Algunos de los resultados obtenidos concuerdan con los reportados por Pères y Vidor (1980), quienes indican que las cepas 527 (FQ13) y 587 (FQ16) dan lugar a asociaciones efectivas con las variedades Bragg, UFV-1 y Santa Rosa. Vidor *et al.* (1979) reportaron que las cepas 527, 587, 513 y 532 (FQ12) se asocian eficientemente con las variedades Parana, Hardee y Missoes.

En relación a las cepas que fueron capaces de establecer asociaciones efectivas con el mayor número de variedades, se tiene que las de más amplio espectro o mayor interespecificidad corresponden a la FQ17 y FQ18 que fijaron nitrógeno en forma eficiente con 6 y 5 de las 7 variedades en estudio y en segundo lugar, las cepas FQ5, FQ8 y FQ9 que fueron efectivas con tres variedades.

Respecto a la interespecificidad de las variedades, Davis, Alamo y UFV-1 son muy específicas, en tanto que las variedades BM-2, Júpiter, Cajeme y Bragg funcionaron

efectivamente con la mayoría de las cepas probadas. Estos resultados son de particular importancia para la variedad Júpiter, si se considera que este genotipo es uno de los que ha mostrado mejor producción de grano, tolerancia a las enfermedades y plagas, resistencia al acame y adaptación a numerosas regiones de nuestro país, por lo que el cultivo de esta variedad es de los predominantes a nivel comercial.

Como confirmación a la importancia de este tipo de estudios, Danso *et al.* (1987) indican que la fijación biológica de nitrógeno y la productividad sólo podrán ser mejoradas cuando cepas altamente efectivas se asocien con las mejores líneas productoras.

CONCLUSIONES

Se comprobó la efectividad en la fijación de nitrógeno de las cepas probadas en este trabajo.

Las asociaciones óptimas entre las cepas de *Bradyrhizobium japonicum* y *Glycine max* corresponden a FQ17-Davis, FQ5-Alamo, FQ5, FQ8, FQ9, FQ17, FQ18-Cajeme; FQ17, FQ18-UFV-1; todas las cepas excepto FQ4, FQ5, FQ10, FQ11 y FQ19 para la variedad Júpiter. Para la variedad Bragg se recomiendan estudios adicionales.

Las cepas seleccionadas con base en su interespecificidad con un rango amplio de variedades de soya corresponden en primer lugar a FQ17 y FQ18 y en segundo término a las cepas FQ5, FQ8 y FQ9.

Las variedades que mostraron interespecificidad a las diferentes cepas de *Bradyrhizobium japonicum* son BM-2, Júpiter y Cajeme.

LITERATURA CITADA

- BROCKWELL, J., A. DIATLOFF, R.J. ROUGHLEY y R.A. DATE. 1982. Selection of rhizobia for inoculants. pp. 173-191. In: J.M. Vincent (ed). Nitrogen Fixation in legumes. Academic Press. Australia.
- BURTON, J.C. 1975. Methods of inoculating seeds and their effect on survival of rizobia. pp. 175-189. In: P.S. Nutman (ed). Symbiotic Nitrogen Fixation in Plants. IBP7 Cambridge University Press, London and New York.
- CALDWELL, B.E. y G. VEST. 1968. Nodulation-interactions between soybeans genotypes and serogroups of *Rhizobium japonicum*. Crop Science 8: 680-682.
- CALDWELL, B.E. y G. VEST. 1970. Effects of *Rhizobium japonicum* on soybeans yields. Crop Science 10: 19-21.
- CHAMBER PEREZ, M.A. 1982. Utilización de inoculantes simples y multirraciales en la soja (*Glycine max*. L. Merrill) de segunda cosecha. An INIA/Ser. Agric./N. 21: 13-20.
- COCHRAN, W.G. y G.M. COX. 1975. Experimental designs. 2a. Edición. Editorial Wiley, New York, USA.
- CRISPIN, M.A. y C. BARRIGA S. 1975. El cultivo de la soya en México. SAG-INIA. Folleto de Divulgación 54.
- DANSO, S.K.A., C. HERA y C. DOUKA. 1987. Nitrogen fixation in soybean as influenced by cultivar and *Rhizobium* strain. Plant and Soil 99: 163-174.
- DEVINE, T.E. y B.H. BREITHAUPT. 1980. Significance of incompatibility reactions of *Rhizobium japonicum* strains with soybean host genotypes. Crop Science 20: 269-271.
- DIXON, R.O.D. 1972. Hydrogenase in legume root nodule bacteroids: occurrence and properties. Arch Microbiol 85: 193-201.
- DOEBEREINER, J., A. FRANCO A. y I. GUZMAN. 1970. Estirpes de *Rhizobium* de excepcional eficiencia. Pesq. Agropec. Bras 5: 155-162.

- ERDMAN, L.W. y U.N. MEANS. 1952. Use of total yield for predicting nitrogen content of inoculated legumes grown in sand cultures. *Soil Sci.* 73: 231-235.
- FERRERA-CERRATO, R. y D. JALPA B. 1980. Inoculación de la soya (*Glycine max* (L.) Merrill) con diferentes cepas de *Rhizobium japonicum* en Cuetzalan, Puebla. *Biótica* 5: 191-197.
- FRENEY, J.R. y A.H. GIBSON. 1974. The nature of non protein nitrogen accumulation in *T. subterraneum* root nodules. *Soil Biol. and Biochem* 6: 313-318.
- GARCIA, B.A. y J. MONCADA F. 1969. Fertilización e inoculación como factores determinantes en el rendimiento de la soya, en la región de Delicias, Chihuahua. Memorias del IV Congreso de la Ciencia del Suelo.
- GARCIA, S.D., F. DE LA GARZA R., M. AGUILAR G. y R.M. RAMIREZ-GAMA. 1981. Programa de inoculación de soya en el estado de Tamaulipas. Resúmenes seminario sobre fijación biológica de nitrógeno. CINVESTAV, IPN., Colegio de Postgraduados, Chapingo; CREGIT, Inst. Tec. Reg. Ver. México.
- GIBSON, A.H., B.I. DREYFUS, R.J. LAWN, J.I. SPRENI, G.L. TURNER. 1981. Host effect environmental factors affecting hydrogen evolution and uptake. pp. 373-381. *In*: A.H. Gibson and W. E. Newton (eds). *Current perspectives in nitrogen fixation*. Aus. Acad. Sci. Canberra.
- GRAHAM, H.P. 1984. Plant factors affecting nodulation and symbiotic nitrogen fixation in legumes. pp. 75-95. *In*: M. Alexander (ed). *Biological nitrogen fixation ecology technology and physiology*. Plenum Press, New York.
- HANUS, F.J., S.L. ALBRECHT, R.M. ZABLOTOWICZ, D.W. EMERICH, S.A. RUSSELL y H.J. EVANS. 1981. Yield and N content of soybean seed as influenced by *Rhizobium japonicum* inoculants possessing the hidrogenase characteristics. *Agron J* 73: 368-372.
- HAVELKA, V.D. y R.W.F. HARDY. 1976. Photosynthate as a major factor limiting nitrogen fixation by field grown legumes with emphasis on soybeans. pp. 421-439. *In*: P.S. Nutman (ed). *Symbiotic nitrogen fixation in plants*. Cambridge University Press Cambridge U.K.
- HICKS, CH. R. 1973. *Fundamental concepts in the design of experiments*. 2a. Edición. Editorial Holt, Rinehart and Winston, New York.
- KREMER, R.J. y H.L. PETERSON. 1982. Isolation, selection and evaluation of *Rhizobium* under controlled conditions. *Soil Sci. Plant Anal.* 13: 749-774.
- MENDEZ, R.I. 1978. Modelos mixtos y aleatorios en el diseño y análisis de experimentos. IIMAS, UNAM. Vol. 4 Núm 31 Com Tec.
- MITCHEL, H.L. 1972. Microdetermination nitrogen in plant tissues. *Journal of the AOAC* 55: 1-13.
- PERES, J.R.R. y C. VIDOR. 1980. Selecao de estirpes de *Rhizobium japonicum* e competitidade por sitios de enfaccão nodular en cultivares de soja (*Glycine max* (L.) Merrill). *Agronomia sulriograndense*, Porto Alegre. 16: 205-219.
- TRUJILLO, G.G. 1981. Producción de inoculantes en México. Resúmenes Seminario sobre Fijación Biológica de Nitrógeno. CINVESTAV, IPN., Colegio de Postgraduados, Chapingo; CREGIT, Inst. Tec. Reg. Ver. México.

VEST, G., D.F. WEBER y C. SLOGER. 1973. Soybean improvement, production and uses. pp. 353-390. In: B.E. Caldwell (ed.) Agronomy Monograph 16. American Society of Agronomy, Wisconsin.

VIDOR, C., J.R.J. FREIRE, I. GODENHO, J. SOARES, N. MENDEZ, y Z. KORNELIUS. 1972. Especificidade simbiótica entre estirpes de *Rhizobium japonicum* e variedades de soja (*Glycine max* (L) Merrill). Agronomia Sulriogrande, Porto Alegre 8: 61-67.

VILELA, L., L.N. MIRANDA, J.R.R. PERES. 1978. A cultura da soja em solos de cerrados de Distrito Federal. Comunicado Técnico. EMBRAPA/CPAC Brasilia 2: 10.

VINCENT, J.M. 1970. A manual for the practical study of rootnodule bacteria, IBP Handbook No. 15. Blackwell Scientific Pub. Oxford, England.

WESTERMANN, D.T. y J. KOLAR J. 1978. Symbiotic $N_2(C_2H_2)$ fixation by bean. Crop Sci. 18: 986-990.

EFICIENCIA EN EL USO DEL AGUA EN TRES GENOTIPOS DE MAÍZ BAJO TEMPORAL

Water-Use-Efficiency in Three Maize Genotypes
under Rainfed Conditions

Miguel A. Perales de la Cruz y Alfonso Serna Pérez

SARH-INIFAP-CIFAP-ZAC-CEDEC
Apartado Postal No. 69, 99600 Jalpa, Zac., México

Palabras clave: Sequía, Zonas áridas, Riego.

Index words: Drought, Arid zone, Irrigation.

RESUMEN

La sequía es un factor ambiental que afecta frecuentemente el cultivo de maíz en México, sin embargo, las tierras más afectadas por la frecuencia e intensidad de la sequía son las situadas en las proximidades de las zonas áridas. En estas regiones una opción que ha permitido mayores avances es el uso de índices de eficiencia. El objetivo del estudio fue encontrar variables relacionadas con la eficiencia en el uso del agua (EUA) y la producción de grano de maíz mediante estudios del patrón de producción de materia seca (MS). Se sembraron tres genotipos de maíz (HV-313, H-303 y Colecta 77) en el período verano-otoño de 1987 en San Pedro, Huanusco, Zac., bajo un diseño experimental de bloques al azar con cuatro repeticiones. Quincenalmente se estimó la EUA con base en un balance de humedad, y la acumulación de MS en cada componente de la planta (hoja, tallo, vaina, espiga y mazorca) a través del ciclo vegetativo. Los resultados revelaron que la relación tallo/hoja fue la

variable con mayor influencia sobre la EUA. Los genotipos HV-313, H-303 y Colecta 77 tuvieron una EUA de 1.87, 2.23 y 1.4 g/kg respectivamente. La EUA fue una función del potencial genético y del ciclo vegetativo.

SUMMARY

Drought is an environment factor which affects frequently the maize crop in Mexico, where the most affected areas are near the arid zones. In these regions an option which allows improvement in plant breeding is the use of efficiency indexes. The objective of the study was to find variables related to the water use efficiency (WUE) and corn grain production based on the distribution in time of dry matter (D.M.). Three maize genotypes of contrasting growth cycle (HV-313, H-303 and Colecta 77) were planted in the 1987 summer-fall period in San Pedro, Huanusco, Zac. under four completely randomized blocks. Dry matter accumulation of each component (leaf, stem, cob, ear) and WUE were estimated biweekly throughout the growing cycle. Results indicated that the stem-leaf ratio had the highest influence ($r^2 = 0.70$) over the WUE. The WUE for the genotypes were: 1.87, 2.23 and 1.4 g/kg for HV-313, H-303 y Colecta 77, respectively. WUE was a function of the genetic potential and vegetative cycle.

Recibido 7-89.

INTRODUCCION

En México el cultivo de maíz cubre anualmente alrededor de ocho millones de hectáreas bajo condiciones de temporal, y en toda la superficie la sequía aparece con mayor o menor frecuencia (Gutiérrez, 1986). Sin embargo, las tierras situadas a las proximidades de las zonas áridas son las más afectadas por la frecuencia y la intensidad de la sequía (Landsberg, 1979 y Tamayo, 1971). A pesar de esto, el maíz se continúa sembrando por ser una tradición ancestral y una necesidad alimentaria.

En dichas regiones, aun cuando existe una controversia básica acerca de la factibilidad de las diferencias intraespecíficas de la eficiencia en el uso del agua (EUA) (Castro *et al.*, 1988 y Tanner y Sinclair, 1983) una de las opciones que ha permitido lograr mayores avances en los programas de mejoramiento, asegurando una cosecha cuando la lluvia escasea, mas bien que obtener rendimientos altos, es el uso de índices de eficiencia que incluyan variables relacionadas con la distribución de materia seca (DMS). Ya que algunos efectos genotípicos relacionados con la distribución de asimilados se expresan aun cambiando el ambiente de la planta (Fisher y Turner, 1978; Gifford y Evans, 1981).

El objetivo del presente trabajo fue detectar en los tres genotipos estudiados, aquellas variables relacionadas con la eficiencia en el uso del agua y la producción de grano, mediante estudios del patrón de distribución de materia seca.

MATERIALES Y METODOS

El presente estudio se desarrolló en el periodo verano-otoño de 1987, en terrenos del Campo Experimental de "Los Cañones" (CEDEC) al sur de Zacatecas en el ejido San Pedro perteneciente al municipio de Huanusco, Zac. Las características ambientales y de sitio se listan en el Cuadro 1.

Cuadro 1. Algunas características ambientales de los terrenos del "CEDEC", San Pedro, Huanusco, Zac. INIFAP-SARH, 1987.

Características	Valores
Altitud	1490
Precipitación	
a) anual	539.1
b) ciclo	457.4
Unidades calor	
a) anual	3086
b) ciclo	1459
Clima	BS ₁ hW(W) (Semiseco-semicálido)
Suelo	
a) textura	Franco-arcillosa
b) pH	7.1

Fuente: Estación climatológica del CEDEC. INIFAP-Zac. 1987.

El material genético constituido por los híbridos H-303, HV-313 y la Colecta 77, fueron distribuidos bajo un diseño experimental de bloques al azar con cuatro repeticiones, en parcelas experimentales de seis surcos de cinco metros de longitud, a una densidad de 39,888 pl/ha, fertilizándose con la dosis 80-40-00 al momento de la siembra. Se registró la precipitación pluvial diaria y el contenido de humedad del suelo semanalmente por el método gravimétrico (Gardner, 1965).

Con base en la ecuación de balance hidrológico sugerido por Tanner (1967), se propuso la siguiente ecuación para efectuar el balance de humedad.

$$ET = Hi - I + pp \text{ efectiva} - Hi \quad (1)$$

donde: ET = Evapotranspiración por periodo (mm) de cálculo; Hi-1 y Hi = Contenido de humedad del suelo (mm) al inicio y final del periodo, respectivamente, con las siguientes restricciones: si $Hi-1 > 88.14$ ¹⁾ entonces $Hi-1 = 88.14$; pp efectiva = precipitación

¹⁾Capacidad de retención de humedad del suelo.

acumulada (mm) por período de cálculo, corregida por pérdidas como escurrimiento superficial, supuestas como un 20% del total de la precipitación (Serna y Velásquez, 1986). Lluvias menores a 5 mm, no se consideraron en la cuantificación de la precipitación acumulada.

La eficiencia en el uso del agua (EUA) se determinó por medio de la ecuación propuesta por Hillel (1980).

$$EUA \text{ (g/kg)} = \frac{\text{Producción de materia seca (g m}^{-2}\text{)}}{\text{Evapotranspiración (mm) (1000)}} \quad (2)$$

A partir de la emergencia y hasta la madurez fisiológica, se colectaron tres plantas al azar con competencia completa por genotipo a intervalos de 15 días y cada planta se disectó en sus componentes para medir las variables específicas que se presentan en el Cuadro 2.

Se realizó análisis de correlación lineal y se definieron aquellas variables cuyo coeficiente de correlación (r) mostró significancia estadística al 5% de probabilidad. Como las de mayor importancia sobre la EUA, se determinaron líneas de regresión entre variables de planta y EUA (Snedecor y Cochran, 1982).

Cuadro 2. Variables específicas a medir en cada componente que fue disectado en la planta de maíz. San Pedro, Huanusco, Zac. 1987

Componente	Datos a tomar
Tallo	Peso seco, diámetro y longitud
Hojas	Peso seco, número, largo y ancho
Vaina	Peso seco y número
Mazorca	Peso seco, diámetro, longitud, número de hileras, granos por hilera y peso de 100 semillas

RESULTADOS Y DISCUSION

Durante el desarrollo del cultivo se acumuló un total de 457.4 mm de precipitación; de los cuales 208.6 se registraron en el mes de julio, 106.2 en agosto, 130.4 en septiembre y 12.3 mm en octubre (Figura 1). Los porcentajes de humedad en el suelo fueron más altos en el mes de julio y fueron declinando conforme ocurrió el desarrollo del cultivo, llegando a tener una etapa de estrés hídrico a fines de agosto. Esta situación es común en el 50% de la superficie de siembra con maíz en México (Tamayo, 1971), ya que los volúmenes de precipitación media colocan a México como un país con categoría de lluvias escasas, las cuales sufren fluctuaciones extremas en cantidad entre las diferentes regiones del país. Diversos autores, entre otros García (1973) y Mosiño y García (1968) explican lo anterior haciendo notar la existencia de una distribución anual de lluvias de carácter bimodal en algunas regiones del país, ocurriendo un receso temporal o punto más bajo entre ambas modas en la cuantía de las lluvias en la segunda quincena de agosto, afectando la mayor parte del país, denominando a este período como "sequía intra-estival" o "sequía de medio verano".

Las Figuras 2 y 3 revelan que en los primeros 40 días después de la siembra, en los tres genotipos de maíz se tiene una baja producción de materia seca por milímetro de agua evapotranspirada (ETP), esto es debido principalmente a la poca cobertura que tiene el cultivo en este período, el cual comprende las etapas fenológicas de emergencia a diferenciación apical (fase vegetativa, Cuadro 3), dando como resultado que la mayor parte del agua disponible en el suelo se pierda por evaporación directa y no sea consumida por la planta. Al respecto, Tanner y Sinclair (1983) sugieren que el criterio de EUA debe ser producción de materia seca por unidades de agua utilizada por las plantas y no por la ETP total, como lo considera la ecuación de Hillel (1980). Sin embargo, Kramer (1984) discute que no siempre el agua utilizada por las plantas es el agua requerida por ellas para lograr una eficiente producción y distribución

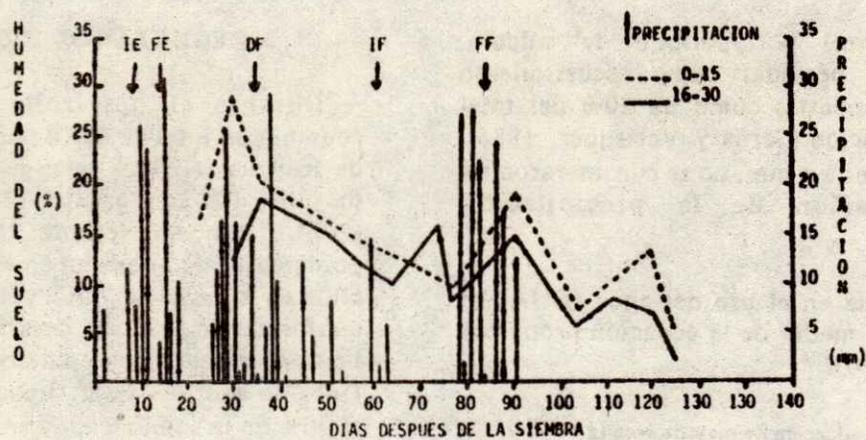


Figura 1. Precipitación y porcentajes de humedad del suelo a dos profundidades y su relación con algunas etapas fenológicas del maíz bajo temporal. San Pedro, Huanusco, Zac. 1987.

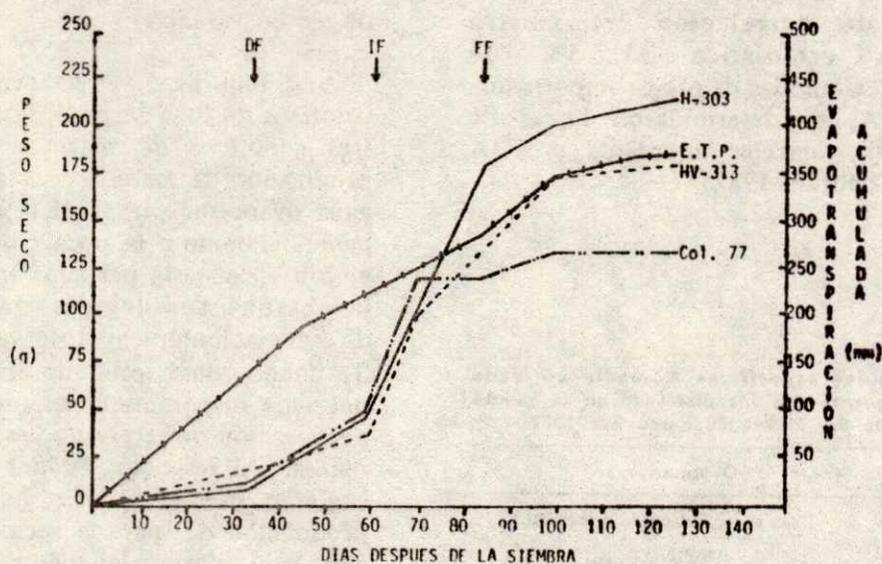


Figura 2. Relación de peso seco acumulado en planta y agua consumida en tres genotipos de maíz bajo temporal.

Cuadro 3. Días transcurridos de la siembra a las diferentes etapas de desarrollo de tres genotipos de maíz bajo temporal. San Pedro A., Huanusco, Zac., 1987.

Etapa fenológica		Días después de la siembra			Etapa de desarrollo
		HV-313	H-303	COL-77	
Inicio de emergencia	(IE)	7	8	8	Vegetativa
Fin de emergencia	(FE)	15	15	15	Vegetativa
Diferenciación floral	(DF)	34	35	37	Reproductiva I
Inicio de floración	(F)	62	68	70	Reproductiva II
Fin de floración	(FF)	76	77	85	Reproductiva II
Inicio de llenado de grano	(LLG)	70	74	81	Reproductiva III
Madurez fisiológica	(MF)	120	125	138	Cosecha

Reproductiva I. Corresponde a formación de órganos reproductivos.
 Reproductiva II. Corresponde a la etapa de fertilización o fecundación.
 Reproductiva III. Corresponde a la formación del producto final (grano).

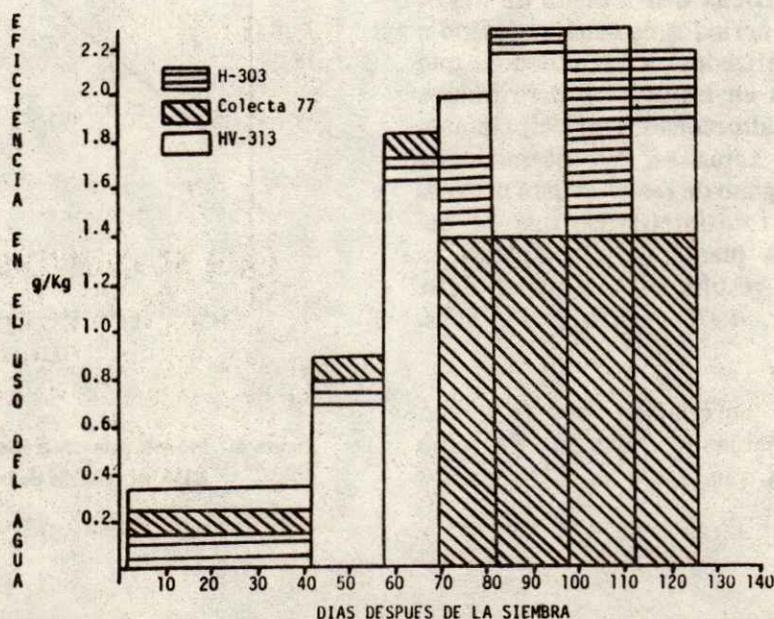


Figura 3. Eficiencia en el uso del agua acumulada por período de muestreo en tres genotipos de maíz bajo temporal.

de materia seca, especialmente en esta etapa fenológica del cultivo. Fisher y Turner (1978); Vanderlip (1983) y Iowa Extension Service (1984) atribuyen la baja EUA a que en esta etapa la planta tiene una demanda por fotosintetizados y asimilados mayor a los que la fuente (en este caso las hojas) le pueden proporcionar, o sea que efectivamente se requiere de mayor aprovechamiento.

La etapa posterior a los 40 días de la siembra (pasó de etapa vegetativa a reproductiva), la acumulación de MS tendió a incrementarse en los tres genotipos estudiados, siendo notable la superioridad en peso seco de H-303 sobre HV-313 y especialmente sobre la Colecta 77, que fue el material de más pobre acumulación de MS y menor EUA (Figura 3). La Colecta 77 mostró su

máxima ganancia en peso o acumulación de MS al llegar a los 65 días después de la siembra, que fue cuando se presentó el primer período de estrés hídrico, coincidiendo con la etapa de floración. Este período de sequía afectó a los tres genotipos en estudio, provocando el fenómeno de dicogamia (protandria) o asincronía en los períodos de floración. Esto repercute en el rendimiento, porque no hay una eficiente polinización y por consecuencia hay una baja o nula producción de granos por mazorca como sucedió con la Colecta 77, la cual no tuvo capacidad de recuperación. Lo anterior puede explicarse tomando en cuenta que en la EUA no basta únicamente con la producción de MS, sino que requiere de su distribución en los diferentes órganos que constituyen la planta (Tanner y Sinclair, 1983 y Zavala, 1984). Dicha distribución de MS es importante en los períodos de sequía, debido a que los fotosintetizados y asimilados que fueron producidos en las hojas y distribuidos en la planta, son almacenados principalmente en el tallo; que actúa en los períodos de sequía como un órgano de reservas para proveer las demandas de fotosintetizados que en ese momento tenga la planta para completar su desarrollo, lo cual resulta en una mayor EUA (Fisher y Turner, 1978; Gifford y Evans, 1981).

La Matriz de correlación obtenida con algunas de las variables medidas en el estudio (Cuadro 4), revela que la mayor EUA en los

tres genotipos está principalmente determinada por un mayor peso de tallo y una mayor relación tallo/hoja (T/H). Esto último se ilustra en la Figura 4.

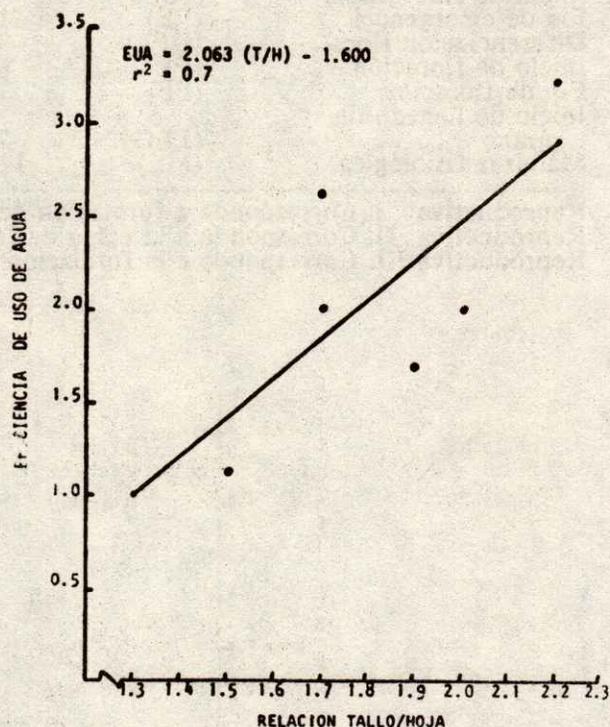


Figura 4. Modelo de regresión lineal simple de la EUA en función de la relación tallo/hoja.

Cuadro 4. Matriz de correlaciones de los principales componentes de los maíces estudiados bajo temporal. San Pedro, Huanusco, Zac. 1987.

	Rend. grano	EUA	Peso seco				T/H
			T	H	V	E	
EUA	0.979*	1.000					
T	0.735	0.813*	1.000				
H	0.800*	0.781	0.932*	1.000			
V	0.261	0.022	0.128	-0.248	1.000		
E	-0.136	-0.221	0.341	0.326	0.052	1.000	
T/H	0.780	0.836*	0.803*	0.892*	0.301	0.32	1.00
σT	0.920*	0.793	0.936*	0.734	0.126	0.012	0.881*

* Significancia estadística al 0.05 de probabilidad.

Considerando lo anterior, la relación T/H explica por qué la Colecta 77 no pudo superar el período de sequía, ya que la acumulación de MS se distribuyó principalmente en hojas, vainas y espiga, y en menor grado en el tallo que es el principal órgano de reservas (Cuadro 5).

Las Figuras 2 y 3 muestran que a los 65 días después de la siembra, los híbridos H-303 y HV-313 fueron los únicos que siguieron registrando incrementos en peso seco y EUA. El HV-313, debido a que es de ciclo vegetativo precoz que le permite evadir la sequía, tuvo una mayor EUA que el H-303 durante los 70 y los 100 días, y posteriormente se reduce por entrar a la etapa de madurez fisiológica. El maíz híbrido H-303 de ciclo vegetativo intermedio-tardío, fue el genotipo que finalizó con mayor acumulación de materia seca, aunque en un período más largo. Estos resultados coinciden con los obtenidos por Gifford y Evans (1981); Fisher y Turner (1978); Tanner y Sinclair (1983) y Alessi y Power (1982), quienes concluyen que la EUA y por consiguiente la acumulación de materia seca tienen una alta correlación ($r = 0.979$) con rendimiento y ciclo vegetativo. Por lo cual los genotipos precoces tienen que ser de mayor EUA y acumulación de MS, para que en un período más corto puedan rendir igual que un genotipo tardío en mayor tiempo. Lo anterior

es explicado al observar que la EUA se correlacionó altamente con peso de tallo y relación T/H (Cuadro 4), variables que son de mayor contribución al peso seco (Cuadro 5).

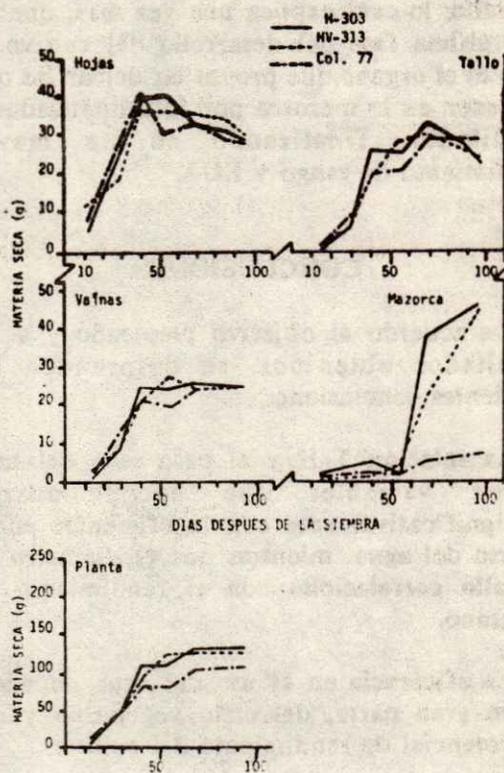


Figura 5. Acumulación de materia seca en el ciclo del cultivo de tres genotipos de maíz bajo temporal. San Pedro, 1987.

Cuadro 5. Materia seca acumulada en floración (F) y madurez fisiológica (MF) y los porcentajes de esta, que se acumularon en los diferentes componentes de las plantas de los genotipos evaluados de maíz bajo temporal. San Pedro, 1987.

Componente de la planta	Genotipo					
	H-303		HV-313		COL-77	
	F	MF	F	MF	F	MF
Peso seco por planta (g/m^2)	187.6	226.99	172.1	193.56	125.2	138.09
Porcentaje de peso seco acumulado en:						
Hojas	23	15	20	19	28	25
Vainas	12	11	14	13	19	18
Tallo	62	30	61	32	44	41
Espiga	3	3	5	5	9	9
Mazorca		41		44		7

En la Figura 5 se observa que después de los 70 días de sembrados los genotipos en estudio, se registró un incremento en peso o acumulación de materia seca en la mazorca, y ésto correspondió a un decremento en el peso del tallo; lo cual explica una vez más, que en esta última fase del desarrollo del cultivo el tallo es el órgano que provee las demandas que se tienen en la mazorca por fotosintetizados y asimilados, finalizando en un mayor rendimiento de rango y EUA.

CONCLUSIONES

De acuerdo al objetivo planteado y a los resultados obtenidos, se desprenden las siguientes conclusiones:

- a) La relación T/H y el peso seco del tallo son variables que correlacionaron significativamente con la eficiencia en el uso del agua, mientras que el diámetro de tallo correlacionó con el rendimiento de grano.
- b) La eficiencia en el uso del agua depende, en gran parte, del ciclo vegetativo y del potencial de rendimiento del cultivo.
- c) El híbrido varietal HV-313 resultó ser el genotipo de mayor eficiencia en el uso del agua.
- d) El híbrido H-303 fue el genotipo más tardío y de mayor rendimiento de grano.

LITERATURA CITADA

ALESSI J. y J.F. POWER. 1982. Effects of plant and row spacing on dryland soybean yield and water-use-efficiency. *Agronomy Journal* 74: 851-854.

CASTRO, R.V., R. CASTRO y J. LOPEZ. 1988. Determinación de la eficiencia en el uso del agua en maíces sometidos a sequía terminal. p. 68. *In: Resúmenes del XII Congreso de Fitogenética*. Chapingo, México.

FISHER, A.R. y N.C. TURNER. 1978. Plant productivity in the arid and semi-arid zones. *Ann. Rev. Plant Physiol.* 29: 277-317.

GARCIA, E. 1973. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen (para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana). *Inst. de Geografía. UNAM. Méx.*

GARDNER, W.H. 1965. Water Content. *In: C.A. Black (Ed.), Methods of soil analysis. Amer. Soc. Agron. Serie No. 9. Madison, Wisconsin.*

GIFFORD, M.R. y G. EVANS. 1981. Photosynthesis, carbon partitioning and yield. *Ann. Rev. Plant Physiol.* 32: 485-509.

GUTIERREZ, S.R. 1986. Comportamiento en campo y tolerancia a marchitez permanente y a presión osmótica de poblaciones de maíz seleccionados bajo el sistema riego-sequía. Tesis de maestría, C.P. Chapingo, México. pp. 124.

HILLEL, D. 1980. Applications of soil physics. Academic Press. New York. p. 197-231.

IOWA EXTENSION SERVICE. 1984. How a corn plant develops. Special Report No. 48 Iowa State University of Science and Technology, Cooperative Extension Service; Ames, Iowa. pp. 21.

KRAMER, P.J. 1984. Relaciones hídricas de suelos y plantas. Una síntesis moderna. Traducido por: Leonor Tejada. EDUTEX, S.A. México: 336-444.

LANDSBERG, H.Z. 1979. Drought. Recurrent element of climate *In: World Meteorological Organization, Drought: Special Environmental Report No. 5.*

MOSIÑO A., P. y E. GARCIA. 1968. Evaluación de la sequía intraestival en la República Mexicana. Sociedad Mexicana de Geografía y Estadística. México.

SERNA, P.A. y M.A. VELASQUEZ. 1986. Relación precipitación-escorrentamiento en una pequeña cuenca experimental de uso agrícola. Informe anual de Investigación. CEDEC-CIFAP-Zacatecas. Sin publicar. p. 8.

SNEDECOR, G.W. y W.G. COCHRAN. 1982. Métodos estadísticos. Novena Impresión. Ed. CECSA, México.

TAMAYO, A. 1971. El aprovechamiento del agua en México y su abastecimiento futuro. Soc. de Méx. de Historia Natural. México. 40 p.

TANNER, C.B. 1967. Measurement of evapotranspiration. *In*: Irrigation of Agricultural Lands. Monograph. No. 11. Amer. Soc. Agron. Ed. Hagan R.M., H.R. Haise and R.W. Edminster. p. 534-74. Madison Wisconsin, U.S.A.

TANNER, C.B. y T.R. SINCLAIR. 1983. Efficient water use in crop production: esearch or research. *In*: Limitations to efficient water use in crop production. Am. Soc. Agr. Ed. Taylor H.M., W.R. Jordan and T.R. Sinclair. p. 1-25. Madison, Wisconsin, U.S.A.

VANDERLIP, R.C. 1983. Como se desarrolla una planta de sorgo. Contribución No. 1203. Departamento de Agronomía, Estación Experimental Manhattan.

ZAVALA, G.F. 1984. Estudios sobre el crecimiento y desarrollo del sorgo en México. Folleto de divulgación No. 7. CIAFAVANL.

LA FIJACION DE N₂ EN FRIJOL EN AMBIENTES RESTRINGIDOS DE HUMEDAD

Dinitrogen Fixation by Bean Plants in Moisture Restrictive Environments

J.Z. Castellanos y J.J. Peña-Cabriales

Campo Experimental Bajío, Apartado Postal 112, Celaya, Gto.
CINVESTAV Unidad Irapuato, Gto.

Palabras clave: Nodulación, Sequía, Leguminosas, Rhizobium.

Index words: Nodulation, Drought, Leguminous, Rhizobium.

RESUMEN

El frijol en México es producido mayoritariamente en la región templada semiárida; su cultivo se realiza bajo condiciones restringidas de humedad, con una importante incidencia de enfermedades y con una baja inversión en pesticidas y semillas. Por lo anterior la selección y el mejoramiento genético para tolerancia a sequía y enfermedades y para incrementar la capacidad de fijación de N₂ es una de las tareas de los grupos de investigación en esta leguminosa. En el proceso de selección de genotipos tolerantes a la sequía es muy importante considerar las características de las sequías para las cuales se trabaja y la incorporación simultánea de genes que confieren tolerancia a enfermedades, habilidad para fijar N₂ y buena calidad culinaria, todo eso con el fin de lograr la rápida adopción de variedades por parte de los productores. El proceso de

fijación de N₂ en leguminosas es en extremo sensible a la sequía por lo que es importante usar estrategias que incluyan: una nodulación temprana, una prolongada tasa de fijación de N₂, una alta tasa de remobilización de N bajo condiciones de sequía y un alto índice de cosecha de nitrógeno. El proceso de selección es largo y tortuoso y requiere de la participación de un numeroso equipo de trabajo y de metodologías que permitan discriminar grandes poblaciones de materiales en forma rápida y económica.

SUMMARY

Dry beans in Mexico are mainly produced in the semiarid highlands under non irrigated conditions and with a minimum investment in inputs. Therefore selection and plant breeding toward a genotype with water stress and diseases tolerance as well as ability to fix nitrogen are important goals for the research groups in this grain legume. In the breeding process toward drought tolerance it is important to consider the characteristics of drought of the region of interest. It is also important to incorporate simultaneously the genes for diseases tolerance, ability to fix N₂ and culinary quality. Therefore it is fundamental to develop methodologies to screen a large amount of genotypes in a fast and

Recibido 1-91

inexpensive way. The process of N₂ fixation in legumes is in extreme sensitive to drought. It is important to use strategies which include: early nodulation, a long period of N₂ fixation, high rates of N remobilization under drought conditions and a high N harvest index. The process of plant breeding under these conditions is long and tortuous and requires the participation of a numerous and well qualified team.

INTRODUCCION

El frijol es el cultivo de mayor importancia en México, después del maíz, y representa la principal fuente de proteínas de la gran mayoría de la población mexicana. De este cultivo se siembran alrededor de 2×10^6 ha y del total de esta superficie, el 85% se cultiva bajo temporal. La principal zona productora se localiza en la región templada semiárida que abarca los Estados de Zacatecas, Chihuahua y Guanajuato. En estos estados se siembra el 65% de la superficie de frijol y se cosecha el 57% de la producción total (INEGI, 1988). Esta leguminosa es cultivada por productores de escasos recursos y cuyo sistema de producción se basa en una mínima inversión en insumos.

Acosta (1988a) cita como principal problema del cultivo la deficiente y mala distribución de la precipitación. Aunado a esto se presenta una importante incidencia de enfermedades, plagas y malezas, conjuntamente con un bajo nivel socioeconómico del campesino. Por otro lado el alto riesgo del cultivo no le permite al productor erogar en agroquímicos.

En México, se han reportado muy pocos trabajos de investigación para estudiar el proceso de fijación de N₂ bajo condiciones de humedad restringida en frijol y la información disponible en la literatura sobre este tema es muy limitada. Dada su importancia nacional, es fundamental impulsar el conocimiento de este fenómeno con el fin de desarrollar tecnología para incrementar los rendimientos del cultivo en la principal zona de producción

de frijol en el país: la región templada semiárida.

Respuesta del Frijol a la Sequía y la Búsqueda de Genotipos Tolerantes.

Demanda hídrica del frijol y efecto de la sequía sobre el rendimiento. Las plantas de frijol son muy sensibles a la humedad del suelo (Millar y Gardner, 1972; Stansell y Smitle, 1980). Debido a su ciclo de crecimiento relativamente corto, los periodos de sequía, aún por breve tiempo pueden afectar severamente su crecimiento (Halterlein, 1980). El cultivo, acorde con su ciclo de crecimiento requiere de láminas de agua que varían de 35 a 50 cm. Cuando estas necesidades no son satisfechas, el rendimiento se reduce y la magnitud de esta reducción depende de la etapa fenológica en que el déficit hídrico ocurra. Si la sequía se presenta en la etapa vegetativa el efecto sobre el crecimiento es mínimo, pero de la etapa de prefloración al llenado de vaina, la planta es particularmente sensible a la falta de humedad del suelo (Acosta y Kohashi, 1988; Bonanno y Mack, 1983; Dubetz y Mahalle, 1969; Robins y Domingo, 1956; Stocker, 1974; Walker y Hatfield, 1979). Doorenbos y Kassam (1979), reportan que un déficit hídrico del 50% en la etapa vegetativa provoca una reducción en rendimiento de solo un 10%; el mismo déficit en la etapa de floración ocasiona una reducción del 55% y durante la etapa de llenado de vaina esta reducción es del 38%; cuando el déficit es posterior a esta etapa, sólo provoca una reducción del 10% en el rendimiento.

Passioura (1983) establece que el rendimiento es una función del agua utilizada, la eficiencia del uso del agua y el índice de cosecha. Debido a que el frijol es una planta C₃ (Begg y Turner, 1976), es relativamente ineficiente en el uso del agua pues sólo produce de 0.3 a 0.6 kg de grano/m³ de agua, en comparación con el maíz que produce de 0.8 a 1.6 kg de grano/m³ de agua consumida (Doorenbos y Kassam, 1979).

Efectos fisiológicos de la sequía y mecanismos de tolerancia. El primer efecto de la sequía es la reducción en la tasa fotosintética como resultado del cierre estomático. Sin embargo, esta reducción atribuida al comportamiento estomático ocurre solamente hasta ciertos niveles de Ψ_w en la planta (Boyer, 1970). Cuando el Ψ_w en la planta se reduce por debajo de estos niveles, el cierre estomático no es lo que controla directamente la fotosíntesis neta, sino los cambios que ocurren al nivel del cloroplasto. Cloroplastos aislados de plantas bajo estrés muestran que el transporte de electrones y la fotofosforilación se inhiben al igual que la fijación de CO_2 (Boyer y Mc Pherson, 1975).

A nivel celular, la sequía afecta más el alargamiento que la división. De hecho el crecimiento foliar es generalmente más sensible a la sequía que la conductancia estomatal y la asimilación de CO_2 . Lo anterior provoca que la tasa de pérdida de agua se reduzca debido a un menor índice de área foliar y por lo tanto se retrasa el colapso de la planta ante un estrés más severo (Begg, 1980). La energía disponible resultante de la reducción en crecimiento del tallo permite el ajuste osmótico (Turner y Jones, 1980) y el crecimiento adicional de la raíz (Begg, 1980; D'Souza y Coulson, 1988), considerados ambos como mecanismos de adaptación a la sequía.

Turner (1986) agrupa los mecanismos de tolerancia o adaptación a la sequía en tres rubros, los cuales se presentan en el Cuadro 1. El mecanismo de escape a la sequía ha sido considerado para frijol por Ibarra (1988) y White y Castillo (1988). Estos últimos investigadores consignaron que los genotipos que mostraron plasticidad en el desarrollo al ser sometidos a sequía presentaron un rendimiento más alto que aquellos que no mostraron este mecanismo. La diferencia resultó de un 3% por cada día de reducción en madurez fisiológica. Esto significa que bajo condiciones de sequía, genotipos capaces de reducir su madurez fisiológica en 10 días rinden en promedio 30% más que aquellos que no presentan esta facultad.

Cuando la sequía ocurre en la fase terminal, la remobilización de carbohidratos hacia las vainas favorece a los genotipos que pueden utilizar este mecanismo (Ibarra, 1988).

El ajuste osmótico como mecanismo de tolerancia permite el mantenimiento de la elongación celular, la apertura estomática, el mantenimiento de la fotosíntesis y la sobrevivencia a la deshidratación, no obstante, su efecto es solo temporal (Turner y Jones, 1980).

El cierre estomático también funciona como mecanismo de tolerancia a la sequía. Larqué *et al.* (1985) reportan que en el genotipo de frijol Michoacán 12-A3 el cierre estomático se presenta a los -0.38 MPa de Ψ_w mientras que en el Flor de Mayo a los -1.14 MPa Ψ_w . Se ha presentado evidencia de que la señal que dispara las reacciones bioquímicas que provocan el cierre estomático ocurre en la raíz y que las citokininas están involucradas en este proceso (Blackman y Davis, 1985).

La tolerancia protoplásmica a la deshidratación ocurre al nivel de estructura de membrana y actividad enzimática. En frijol no se han reportado estudios que muestren esta habilidad, aunque es de esperar que exista.

Cuadro 1. Mecanismo de tolerancia de las plantas a la sequía (Turner, 1986).

Escape a la sequía.	
1)	Rápido desarrollo fenológico.
2)	Plasticidad en el desarrollo.
Tolerancia a sequía con bajo Ψ_w en la planta.	
1.	Mantenimiento de turgencia.
a)	Ajuste osmótico.
b)	Incremento en elasticidad
c)	Decremento en tamaño celular.
2.	Tolerancia a desecación.
a)	Tolerancia protoplásmica.
Tolerancia a sequía con alto Ψ_w en la planta.	
1.	Reducción en la pérdida de agua.
a)	Incremento en la resistencia estomática y cuticular.
b)	Reducción en la radiación absorbida.
c)	Reducción del área foliar.
2.	Mantenimiento de la absorción de agua.
a)	Incremento en la densidad y profundidad de raíces.
b)	Aumento en la conductancia de la fase líquida.

Características de la sequía. Sólo cuando se conoce a ciencia cierta el comportamiento de la precipitación, las características de almacenamiento de humedad en el perfil del suelo y la fenología del cultivo es factible determinar el tipo de sequía que se presenta en una región dada.

En la caracterización de la sequía es importante la intensidad y duración del déficit hídrico, así como la etapa fenológica en que más frecuentemente ocurre (Johnson *et al.*, 1981). De esta manera se podrá determinar con mejores bases el ideotipo de variedad que mejor se adapte a tales condiciones en términos de hábito de crecimiento, precocidad a floración, ciclo de crecimiento, desarrollo del sistema radicular, capacidad de sobrevivencia en períodos de sequía, plasticidad del material en términos de precocidad a madurez fisiológica, etc.

Estudios muy generales y observaciones de algunos investigadores sugieren que en la zona templada semiárida, la sequía en frijol ocurre principalmente en la etapa de floración y llenado de vaina (Ibarra *et al.*, 1987). Estudios del CIAT (1979) indican que en el 60% de las áreas productoras de frijol en América Latina ocurre un cierto grado de sequía en la etapa de floración del cultivo.

Hasta la fecha la mayoría de los grupos que trabajan sobre el fenómeno de sequía en el país no disponen de una caracterización a detalle de la sequía para la cual se pretende obtener genotipos tolerantes. Bajo estas condiciones el trabajo de investigación suele hacerse más largo y con menores probabilidades de éxito.

Selección de genotipos tolerantes a sequía. El avance genético en un programa de mejoramiento de planta, depende del apropiado ensamble de una diversa colección de germoplasma. Hurd (1976) enfatiza la necesidad de contar con grandes poblaciones debido a que el mejoramiento para tolerancia a sequía involucra, probablemente, la presencia de muchos genes con pequeños efectos que son difíciles de medir.

A menudo el avance en los programas de mejoramiento genético para tolerancia a la sequía ha sido limitado a la falta de procedimientos apropiados para discriminar genotipos a partir de un grupo muy grande de materiales. Idealmente las técnicas para discriminar genotipos deben: a) proveer información sobre el comportamiento de la planta en etapas críticas de desarrollo, b) requerir un tiempo corto, c) requerir cantidades relativamente bajas de semilla y d) ser capaces de evaluar cantidades grandes de genotipos (Johnson *et al.*, 1981).

Al establecer los criterios de selección es importante caracterizar el tipo de sequía imperante en la región, pues la tolerancia a sequía es el resultado de la interacción de una serie de mecanismos, algunos de los cuales pueden operar en posición contraria (Singh y White, 1988).

En varias especies vegetales se ha reportado que existe variación genética en relación a los siguientes atributos de adaptación a la sequía: Evasión de la deshidratación (mantenimiento alto Ψ_w bajo sequía), ajuste osmótico, velocidad de crecimiento bajo sequía, recuperación de planta después de rehidratación, tolerancia en el sistema fotosintético, capacidad de remobilización de carbohidratos bajo sequía, estabilidad de las membranas celulares, atributos de crecimiento radicular, tamaño de la hoja, área foliar, contenido ceroso epicuticular, control estomático y pubescencia de órganos (Acosta, 1988b; Blum, 1983; Blum *et al.*, 1980; Boyer y Mc Pherson, 1975; Couto, 1978; Johnson *et al.*, 1981; Nass y Sterling, 1981; Tosso, 1979).

Algunos investigadores han propuesto metodologías para seleccionar genotipos de frijol adaptados a la sequía considerando la profundidad del sistema radicular (White y Castillo, 1988); plasticidad en el desarrollo y capacidad de remobilización de carbohidratos (Ibarra, 1988); termometría infrarroja en la canopia del cultivo bajo sequía (Laing *et al.*, 1984) y relación isotópica de carbono a niveles de abundancia natural (Ehleringer,

1988). No obstante estos avances, no existe una metodología confiable y válida para seleccionar materiales de frijol tolerantes a sequía que no involucre el dato de rendimiento bajo sequía como principal parámetro de evaluación (Singh y White, 1988).

En los ensayos de sequía en frijol que se siguen en México e incluso en el CIAT, la tolerancia a la sequía de los genotipos se mide usando el índice de susceptibilidad de Fisher y Maurer (1978). También suele emplearse la media geométrica del genotipo bajo ambas condiciones de humedad (Samper y Adams, 1985). Este último parámetro involucra un componente de adaptación que resulta fundamental en estos estudios (Medersky y Jeffers, 1973). Un tercer parámetro de evaluación es el porcentaje de decremento en rendimiento al imponer sequía (White y Castillo, 1988). Aunque estos dos parámetros están más apegados a la realidad, tienen el inconveniente de que los genotipos pueden presentar una respuesta diferente en función a la época en que se impone la sequía, y en función a la precocidad de los genotipos y al nivel de sequía impuesta. Aunque estos inconvenientes son relativamente manejables en el campo, no dejan de ser una restricción para la adecuada y precisa valoración de los genotipos de frijol común tolerantes a sequía. Se han reportado para otras regiones genotipos de frijol común tolerantes a sequía (Acosta, 1988b; Ibarra, 1988; Laing *et al.*, 1984; Singh y White, 1988; White y Castillo, 1988; Zuluaga *et al.* 1988), sin embargo la extrema sensibilidad de muchos genotipos de frijol al foto y termoperíodo y a su interacción, hace necesario que en cada región se requiera hacer las propias evaluaciones y selecciones de materiales con base en las características climáticas específicas de la zona. Estas condiciones y la falta de técnicas adecuadas de selección han hecho más lento el avance del mejoramiento para tolerancia a sequía en frijol común.

Hasta la fecha prácticamente la totalidad de los ensayos realizados en México para obtener genotipos de frijol tolerantes a sequía se han realizado en la especie

Phaseolus vulgaris, sin embargo, existen condiciones de sequía extrema dentro de la zona templada semiárida en donde es difícil que la especie *P. vulgaris* puede proveer los genotipos requeridos en cuanto al nivel de tolerancia a sequía y para lo cual pudiera pensarse en un genotipo de *P. acutifolius* dada su mayor tolerancia a estas condiciones (Parsons y Howe, 1984; Pratt y Nabhan, 1988; Zuluaga *et al.* 1988) o bien en una cruce interespecífica *P. vulgaris* y *P. acutifolius*. No obstante, es importante recalcar que esta última no es fácil de lograr y requiere de considerable esfuerzo (Waines *et al.*, 1988).

Estudios de simulación. La sequía es una condición sumamente dinámica y sus efectos en la planta son muy variados dependiendo de la etapa e intensidad con que se presente y del genotipo mismo, debido a esto, la simulación viene a ser una herramienta de gran valor en la investigación. Hoogenboom *et al.* (1988) desarrollaron un modelo de crecimiento para frijol denominado BEANGRO. Este modelo una vez validado en la región, podría ser útil para interpretar el efecto de la sequía sobre el rendimiento. De los ensayos realizados en el CIAT se han obtenido algunos datos interesantes como la relación entre el área foliar específica (AFE) medida en cm^2/g de hoja y el rendimiento de grano, cuyo nivel óptimo es de $300 \text{ cm}^2/\text{g}$ de hoja. Sin embargo, el AFE para máxima eficiencia en el uso del agua es de 250 a $300 \text{ cm}^2/\text{g}$.

Fijación Biológica de N_2 en Frijol.

Entre los muchos factores que contribuyen a mejorar los rendimientos en frijol, el incremento de la disponibilidad de nitrógeno en las etapas críticas del cultivo resulta de capital importancia, especialmente si este abastecimiento proviene de la fijación biológica, lo que permite reducir costos del cultivo y riesgos de inversión.

La planta de frijol a diferencia de otras especies de leguminosas cultivadas, es considerada una especie con pobre capacidad de fijación de N_2 (Vincent, 1974). Algunos de

los factores que contribuyen a esta situación se mencionan a continuación.

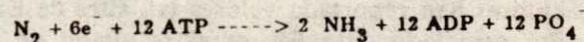
Limitantes de la fijación de N₂. Atkins (1986) menciona que la mayoría de las leguminosas de grano alcanzan en el campo niveles de fijación de N₂ considerablemente menores a los establecidos como potenciales, esto, sin considerar limitantes de tipo agronómico, y enlista como limitaciones del proceso: a) la dificultad de lograr la infección con una cepa efectiva de *Rhizobium*; b) la inversión sustancial de nitrógeno y otros nutrientes de la semilla para sostener la multiplicación de *Rhizobium* y la formación del nódulo; c) la inhibición de la nodulación y fijación debido al N combinado en el suelo; d) costos para la planta relativamente altos en términos de fotosintatos, debido a los altos requerimientos de energía para el funcionamiento de la nitrogenasa y el mantenimiento del nódulo; y e) senescencia prematura de los nódulos y el consecuente decremento en la adquisición de N por la planta al inicio de la etapa reproductiva.

Infección con una cepa de *Rhizobium* altamente efectiva. El frijol en México, se cultiva desde hace 6,000 y 7,000 años (Kaplan y Kaplan, 1988) y la evolución de esta especie muy probablemente ha sido paralela a la de sus correspondientes microsimbionte, razón por la cual existe una gran diversidad de cepas nativas y dado que el frijol se cultiva prácticamente en todo el país la población de cepas nativas es considerablemente alta en casi todos los suelos de México, especialmente en las regiones productoras de frijol, en las cuales las poblaciones de rizobios nativos ascienden hasta a 10⁵ células/g de suelo y con una gran predominancia de cepas inefectivas (Almaraz y Ferrera-Cerrato, 1986; J. Maya, 1989. Comunicación personal). Esta situación ha provocado que la ocupación de nódulos por cepas oscilen de 5 a 20%; (J. Maya, 1989. Comunicación personal) y en la mayoría de los casos no sea mayor de 10%. Esta es un factor limitante para el uso de inoculantes con cepas élite.

Requerimiento de N para la formación del nódulo. Durante las etapas iniciales en el desarrollo de la plántula la demanda de N es mayor que la disponibilidad (Neves y Hungría, 1987). Sprent y Raven (1985) estiman que en *P. vulgaris*, tanto como un tercio del N de la semilla en germinación se requiere para la formación de nódulos, por lo que durante esta etapa pueden ocurrir deficiencias de N en la planta, lo cual puede subsanarse con bajas aplicaciones iniciales de N (Burton *et al.*, 1961; Gibson, 1976). Neves y Hungría (1987) sugieren que esta deficiencia inicial de N está relacionada con un problema de transporte y que existe un importante efecto de cepas y variedad en relación a la velocidad inicial de fijación de N₂. Esto último ha sido confirmado por Graham, 1989. Comunicación personal.

Inhibición de la nodulación y fijación de nitrógeno. La presencia del nitrógeno en el suelo en cantidades de consideración provoca la inhibición de la nodulación y del funcionamiento de los nódulos ya formados (Atkins, 1986). Al respecto, se han obtenido mutantes de frijol capaces de nodular profusamente en presencia de altas concentraciones de nitratos (Park y Buttery, 1988). Estos mismos autores y Davis *et al.* (1988) han reportado también mutantes de frijol que no nodulan. Aunque en México la mayoría de los suelos de la zona templada semiárida son deficientes en nitrógeno, sería útil tener genotipos de frijol que nodulen a altas concentraciones de nitrógeno para explotarlos bajo condiciones de asociación con maíz ya que en el estado de Guanajuato se siembra 130,000 has de frijol asociado con maíz (Tapia, 1988).

Costos de la fijación de N₂. La fijación de N₂ es un proceso reductivo que depende de la respiración de azúcares para obtener su poder reductor y energía requerida, tal como se observa en la ecuación de Atkins (1986).



Estos azúcares son producidos mediante la fotosíntesis en la parte aérea y translocados

hacia los nódulos a través del floema. Este proceso consume de 3 ó 4 veces más energía metabólica que la absorción y asimilación de nitrógeno mineral (Atkins, 1986). De hecho durante algunos periodos de crecimiento activo, de un 30 a un 50% de los carbohidratos producto de la fotosíntesis neta diaria son consumidos por las raíces noduladas (Pate y Minchin, 1980). Se considera que una de las principales limitantes del proceso de fijación de N_2 es la disponibilidad de fotosintatos a los nódulos (Lawrie y Wheeler, 1973, Lawn y Brun, 1974; Mahon, 1977). A pesar de que el rendimiento de cosecha depende directamente de la fotosíntesis, el hombre ha seleccionado y mejorado nuevos cultivos que expresan su incremento en rendimiento a través de un mayor índice de cosecha en lugar de una mayor fijación de CO_2 por unidad de área foliar (Gifford *et al.*, 1984).

Además de la capacidad fotosintética de la planta para proveer de carbohidratos a los nódulos existe otro importante factor que incide sobre la cantidad de N_2 fijado: la eficiencia de la simbiosis. Conjuntamente con la fijación de N_2 se libera hidrógeno y en este proceso se consumen electrones y ATP, que de otra manera serían usados para la reducción de N_2 , perdiéndose por lo tanto una considerable cantidad de energía (Schubert y Evans, 1976). Por otro lado, en los bacteroides existe una enzima denominada 'uptake' hidrogenasa que recicla el hidrógeno lo que hace aumentar la eficiencia de la simbiosis al conservar los sustratos de carbono (Neves y Hungría, 1987). La cantidad de esta enzima determina la eficiencia relativa (ER) de la nitrogenasa en términos de alocación de electrones estimada mediante la proporción de electrones perdidos en la evolución de hidrógeno, del total disponible para la nitrogenasa (Schubert y Evans, 1976). Para frijol la ER reportada por Hungría y Neves (1986b) y por Saito *et al.* (1980) ha variado desde 0.38 a 0.96, pero sólo estos autores han reportado valores tan altos de ER. Por otro lado, esta ER es el resultado de la interacción de la cepa y el cultivar (Hungría y Neves, 1986a). Estos mismos autores han reportado una alta relación entre eficiencia

relativa y proporción de N transportado en la forma de ureidos.

Ontogenia de la fijación de N_2 en frijol. Entre la segunda y tercera semana después de la siembra del frijol se empieza a detectar la actividad de la enzima nitrogenasa. A partir de entonces se inicia la adquisición de N_2 (Neves y Hungría, 1987). Aunque esta etapa de inicio corresponde regularmente a la etapa fenológica V-3 (Westerman y Kolar, 1978), la velocidad inicial del proceso está en función de la cepa y el cultivar de frijol (Neves y Hungría, 1987; P.H. Graham, 1989. Comunicación personal; J. Kip-Nolte, 1989. Comunicación personal).

Las diferencias que se han detectado entre cultivares de frijol en esta etapa han sido en realidad pequeñas en comparación con las diferencias que se observan en la etapa de floración e inicio de llenado de vaina, que corresponde a la etapa de máxima fijación de N_2 (Felix *et al.*, 1981; Franco, 1977; Franco *et al.*, 1979; Graham, 1981; Hungría y Franco, 1988; Hungría y Neves, 1986b). A partir de esta etapa ocurre el decremento de la fijación de N_2 posiblemente como consecuencia de la competencia por fotosintatos de las vainas en desarrollo (Hungría y Neves, 1986c). Hardy y Havelka (1976) reportan que un retraso de solo 9 días en floración puede doblar la fijación total de N_2 . Resultados similares han sido reportados por St Claire *et al.* (1985). El área foliar y su duración también están directamente relacionados con la fijación total de N_2 (Rennie y Kemp, 1981a; Bliss, 1987; Westerman *et al.*, 1985). Esta variable ha sido también estrechamente asociada con el rendimiento de grano (Laing *et al.*, 1983). No obstante que muchos reportes indican el brusco descenso en la capacidad de fijación de N_2 a partir de la etapa R-3, en un ensayo con ^{15}N en la región del Bajío, Peña-Cabriales (1989) reporta que el descenso en la capacidad de fijación no es tan brusco, sino que ocurre paulatinamente, lo que indica que una proporción importante del nitrógeno puede ser fijada al final del ciclo. St Claire *et al.* (1985) reportan que la línea W-2417 fijó 3/4 del N total después de la etapa

R-3, mientras que los genotipos W-2158 y Puebla 152 fijaron una proporción substancialmente menor después de esta etapa.

En la etapa posterior a la floración en que desciende la actividad de la enzima nitrogenasa, aumenta la actividad de la enzima nitrato reductasa (Felix *et al.*, 1981), especialmente en la etapa de llenado de vaina (Franco, 1977; Franco *et al.*, 1979); esto ocurre como un mecanismo para satisfacer la demanda de nitrógeno sin comprometer a la producción de fotosintatos. Al respecto, algunos autores han propuesto que una alta habilidad asimilatoria de nitrógeno combinado, perjudica la fijación de N₂ en frijol (Graham y Halliday, 1977).

Capacidad de fijación de N₂ en frijol. En comparación con otras especies de leguminosas cultivadas, el frijol es considerado un fijador de N₂ pobre (Vincent, 1974), en este sentido Graham y Rosas (1977) reportaron hace más de una década que existe una gran variabilidad genética en relación a la capacidad de fijación de N₂ y que los genotipos de hábito trepador tienen una mayor capacidad de fijación que los genotipos de hábito determinado. No obstante, se reportó que no es necesariamente el hábito de crecimiento el que determina este comportamiento (Graham y Halliday, 1977). Después de estos trabajos, se ha publicado una gran cantidad de estudios que muestran la variabilidad genética que existe en relación a este carácter (Franco *et al.*, 1979; Peña-Cabriales, 1988; Pereira *et al.*, 1984; Phia y Munns, 1987; Rennie y Kemp, 1981a,b; Rosas y Bliss, 1986; Ruschel *et al.*, 1982; Westerman y Kolar, 1978), y de hecho se han incorporado los genes de alta capacidad de fijación en genotipos pobres fijadores (Bliss, 1985; Mc Ferson, 1983). La mayoría de estos estudios concuerda en que los genotipos tardíos en general muestran una mayor capacidad de fijación de N₂ y que existe un importante efecto de cepa y de interacción cepa por genotipo (Graham, 1981; Hungría y Neves, 1984; Rennie y Kemp, 1983a).

En cuanto a la cantidad de N₂ fijado, Habish e Isagh (1974) reportan de 25 a 71 kg de nitrógeno para un periodo de 100 a 120 días. Rennie y Kemp (1983a y b) utilizando la técnica de dilución isotópica de N, reportaron valores de hasta 125 kg de N fijado y porcentajes de N derivado de la atmósfera de hasta 68.3, con una media de 51.8. Hardarson (1988) reportó valores máximos de 165 kg de N/ha fijados y con un 67% de N derivado de la atmósfera. Estos valores fueron considerados records dentro de los estudios publicados. Rennie y Kemp (1983a) reportaron que las cepas más efectivas derivaron hasta el 73% del N de la atmósfera. Es importante aclarar que estos trabajos se realizan en suelos libres de cepas nativas. En ensayos regionales donde abundan las cepas nativas, utilizando también la técnica de dilución isotópica, Peña-Cabriales (1988) encontró valores promedio de 35% de N derivado de la atmósfera con un máximo de 58% y hasta 113 kg de N fijado por ha con el mejor genotipo, que resultó ser el Bayocel. Estos valores comparados con otras leguminosas de grano son considerados relativamente bajos, pero al compararlos con otros ensayos dentro de esta especie resultan muy aceptables.

Movilización de N al grano. Dado que la porción económicamente importante del cultivo de frijol es el grano, es fundamental la eficiente translocación del N a las vainas. Neves y Hungría (1987) reportan que la forma de transporte de N en el floema tiene efecto sobre la proporción del N que se transloca al grano y que además, esta proporción es afectada por la cepa y el cultivar en cuestión. Por otro lado Thomas *et al.* (1984) no encontraron diferencias en la proporción de N en la savia del xilema entre genotipos contrastados en la capacidad de fijación de N₂. Sin embargo estos mismos autores reportaron que las líneas de frijol con alta capacidad de fijación de N₂ mostraron mayores tasas de translocación de N independientemente de que estuvieran abastecidas con N₂ o fertilizantes nitrogenados.

La proporción de N que al final de la cosecha se encuentra en el grano se denomina

índice de cosecha de nitrógeno (ICN). Los valores de ICN reportados para frijol varían de 0.60 a 0.83 (Westerman *et al.*, 1981; Westerman *et al.*, 1985; Hungría y Neves, 1986a).

Efectos de la sequía sobre el proceso de fijación de N₂.

Eaglesham y Ayanaba (1984) puntualizan la influencia de la humedad del suelo sobre el establecimiento de los rizobios inoculados y su comportamiento. Por otro lado esta misma variable afecta también la sobrevivencia de los rizobios en el suelo (Osa-Afiana y Alexander, 1982; Peña-Cabriales y Alexander, 1979) cuyo efecto resulta variable entre cepas de una misma especie (Mahler y Wollum, 1981; Almaraz y Ferrera-Cerrato, 1986). Esto indica que hay variabilidad genética en relación a este carácter.

El proceso de fijación de N₂ es en extremo sensible a la sequía y de hecho lo es más que la reducción de NO₃ (Sprent, 1982). El período en que ocurre la sequía es de extrema importancia en relación al efecto sobre la fijación de N₂. Un período prolongado de sequía en estado vegetativo retrasa la nodulación y fijación de N₂ y además reduce severamente estas dos variables (Abdel Graffar *et al.*, 1982; Saito *et al.*, 1984; Zablutowicz *et al.*, 1981).

Una vez establecidos los nódulos, la desecación de estos provoca la pérdida de la actividad de fijación (Pankhurst y Sprent, 1975), reduciéndose virtualmente a cero cuando el contenido de humedad de los nódulos se reduce al 50 a 55% (Albrecht *et al.*, 1984). La pérdida de actividad del nódulo es reversible siempre y cuando no pierda más del 20% del peso fresco máximo (Sprent, 1971). Sprent (1976), citado por Lie (1981), observó que el riego bajo condiciones de campo incrementó 10 veces la fijación de N₂ en soya después de un período de sequía. También sugiere que el efecto inicial de la sequía es debido a un limitado suplemento de carbono hacia los nódulos (Sprent, 1981).

En el campo, la fijación de N₂ ocurre óptimamente a niveles de capacidad de campo pero se suprime cuando las hojas inferiores muestran claramente el déficit hídrico (Pate, 1976). De hecho, Eaglesham y Ayanaba (1984) sugieren que la variación en el contenido de humedad a lo largo del día podría explicar la variación tan alta que ocurre regularmente en las determinaciones de reducción de acetileno entre muestras. Cuando la sequía es muy severa ocurre un daño estructural irreversible conforme las células del cortex del nódulo se colapsan (Pate, 1976).

Aunque no hay estudios climáticos detallados, se ha reportado que en la zona templada semiárida de México, la sequía ocurre regularmente en la etapa reproductiva (Ibarra, 1988), por lo que habría que aprovechar la etapa vegetativa para acumular en la planta la mayor cantidad de N vía fijación biológica, con la esperanza de lograr una eficiente remobilización de N hacia las vainas una vez que el evento de sequía se presente.

En el frijol se han realizado muy pocos estudios del efecto de la sequía sobre el proceso de fijación, sin embargo en soya se ha reportado un excelente trabajo (Durand *et al.*, 1987) que arrojó los siguientes resultados: a) la actividad de la nitrogenasa mostró un decremento del 70% durante los primeros 4 días después de imponer la sequía, mientras que la fotosíntesis apenas se redujo en un 5%, lo que indica que el daño a la fijación no es el resultado de una reducción en la fotosíntesis como lo habían indicado algunos autores; b) el efecto de la sequía sobre la actividad de los nódulos ocurre primeramente como resultado del incremento en la resistencia a la difusión de oxígeno a los bacteroides y c) existe una estrecha relación entre el potencial del agua en la hoja y el potencial de agua en el nódulo y entre el potencial del agua en el nódulo y la resistencia a la difusión del oxígeno en el mismo. Weisz *et al.* (1985) también encontraron que la fijación de N₂ es mucho más vulnerable a la sequía que la fotosíntesis y sugiere que en cierta medida algunas reducciones en rendimientos son el resultado de un déficit de N ocasionado por la sequía.

CONCLUSIONES

Considerando las características climáticas de la zona templada semiárida de México, existe un razonable potencial de incrementar la fijación biológica de N₂ en frijol mediante la búsqueda de genotipos eficientes en la fijación de N₂ y no mediante la búsqueda de cepas de *Rhizobium* élite. Hasta la fecha prácticamente no se ha evaluado la capacidad de fijación de N₂ de los genotipos de temporal. Es de esperar que existen genotipos prometedores en relación a este carácter. Existen varios mecanismos que se pudieran explotar para incrementar la capacidad de fijación de N₂ como sería: 1) nodulación temprana y retraso en la senescencia de los nódulos; de estas dos posibilidades la segunda ofrece mayor potencial en la medida en que no ocurra sequía en la etapa de llenado de vaina, esta segunda posibilidad se podría lograr seleccionando genotipos de floración tardía, sin embargo, habría que estudiar su adaptación a la sequía típica de la zona; 2) balance adecuado entre área foliar y adaptación a la sequía, pues por un lado una reducida área foliar significa una limitación a la suplementación de fotosintatos a los nódulos, lo que a su vez reduce la fijación de N₂; por otro lado una elevada área foliar hace muy vulnerable al genotipo ante una sequía severa; 3) habilidad del genotipo para seleccionar cepas efectivas en el campo, dada la alta población y gran diversidad de cepas nativas; 4) genotipos con habilidad para translocar nitrógeno a las vainas bajo condiciones de sequía terminal (al final del ciclo). Es importante explotar todas estas posibilidades con el fin de aumentar la fijación de N₂ en la zona templada semiárida del país. La necesidad de lograr esto es fundamental pues los productores no tienen posibilidades de invertir en insumos, especialmente tratándose de una agricultura de alto riesgo y de productores con un bajo nivel socioeconómico.

LITERATURA CITADA

- ABDEL-GRAFFAR, A.S., H.A. ALTAR, M.H. EL HALFAWE y A.A. ABDEL SALAM. 1982. Effects of nodulation, nitrogen fertilizer, salinity and water stress on symbiotic N₂ fixation by *Vicia faba* and *Phaseolus vulgaris* L. In: P.H. Graham y S.C. Harris (Eds.), bnf Technology for tropical agriculture. CIAT, Cali, Colombia, pp. 153-159.
- ACOSTA-GALLEGOS, J. 1988a. Mejoramiento del frijol en México. Revista Mexicana de Fitogenética. (En prensa).
- ACOSTA-GALLEGOS, J. 1988b. Selection of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) genotypes with enhanced drought tolerance and biological nitrogen fixation. Ph. D. Thesis. Michigan State University.
- ACOSTA-GALLEGOS, J.A. y J. KOHASHI SHIBATA. 1988. Effects of water stress on growth and yield of indeterminate dry bean (*Phaseolus vulgaris* L.) cultivars. Submitted: Field crop research. The Netherlands.
- ALBRECHT, S.L., J.M. BENNET y K.J. BOTE. 1984. Relationship on nitrogenase activity to plant water stress in field grown soybean. Field crop. Res. 8: 61-71.
- ALMARAZ-SUAREZ, J.J. y R. FERRERA-CERRATO. 1986. Evaluación y selección de cepas de *Rhizobium phaseoli* eficientes en fijación de nitrógeno aisladas de Zacatecas, Durango y Aguascalientes. Reporte anual del proyecto de tolerancia a sequía en frijol. MSU-INIFAP.
- ATKINS, C.A. 1986. The legume *Rhizobium symbiosis*: Limitations to maximising nitrogen fixation. Out look on Agriculture. 15(3): 129-134.

- BEGG, J.E. 1980. Morphological adaptations of leaves to water stress. *In: adaptation of plants to water and high temperature stress.* Eds. N.C. Turner y D.J. Kramer. Wiley-Interscience. New York. pp. 34-42.
- BEGG, J.E. y N.C. TURNER. 1976. Crop water deficits. *Advances in Agronomy* 28: 161-217.
- BLACKMAN, P.G. y W.J. DAVIS. 1985. Root to shoot communication in maize plants. Effect of soil drying. *J. Exp. Bot.* 36: 39-48.
- BLISS, F.A. 1985. Breeding for enhanced dinitrogen fixation potential of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) *In: P.W. Ludden y J.E. Burris (Eds.) Nitrogen fixation and CO₂ metabolism.* Proc. 14th streenbuck symposium, 17-22 June 1984, University of Wisconsin, Madison, Elsevier Science Publishing Co. pp. 303-310.
- BLISS, F.A. 1987. Host plant control of symbiotic N₂ fixation in grain legumes. *In: Genetic aspects of plant mineral nutrition.* H.W. Gabelman y B.C. Lougham (Eds.) Martinus Nijhoff. pp. 479-491.
- BLUM, A. 1983. Genetic and Physiological relationships in plant breeding for drought resistance. *Agricultural Water Management (Amsterdam)* 7: 195-205.
- BLUM, A., B. SINEMA y O. ZIV. 1980. An evaluation of seed and seedling drought tolerance screening test in wheat. *Euphytica.* 29: 727-736.
- BONANNO, A.R. y M.J. MACK. 1983. Yield components and pod quality of snapbeans grown under differential irrigation. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 105: 869-873.
- BOYER, J.S. 1970. Differing sensitivity of Photosynthesis to low leaf water potential in corn and soybean. *Plant Physiology* 46: 236-239.
- BOYER, J.S. y H.G. Mc. PHERSON. 1975. Physiology of water deficits in general crops. *Advances in Agronomy* 27: 1-23.
- BURTON, J.C., ON. ALLEN y K.C. BERGER. 1961. Effect of certain mineral nutrients on growth and nitrogen fixation of inoculated bean plants. *Phaseolus vulgaris* L. *J. Agr. Food Chem.* 9: 187-190.
- CIAT. 1979. Informe del Centro Internacional de Agricultura Tropical Cali, Colombia.
- COUTO, L. 1978. Effects of water stress on growth, reproductive development dry matter partitioning and yield components of bean (*Phaseolus vulgaris* L.) in the field. Ph. D. Thesis. University of California, Davis.
- DAVIS, J.H.C., K.E. GILLER, J. KIP NOLTE y M. AWAH. 1988. Non nodulating mutants in common bean. *Crop Sci.* 28: 859-860.
- DOORENBOS, J. y A.H. KASSAM. 1979. Efecto del agua sobre el rendimiento de los cultivos. FAO Roma. pp. 83-88.
- D'SOUZA, H.A. y C.L. COULSON. 1988. Dry matter production and partitioning in two cultivars of *Phaseolus vulgaris* L. under different watering regimes. *Trop. Agric.* 65: 179-181.
- DUBETZ, S. y P.S. MAHALLE. 1969. Effect of water stress on bush beans (*Phaseolus vulgaris* L.) at the three stages of growth. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 94: 479-481.
- DURAND, J.L., J.E. SHEEHY y F.R. MINCHIN. 1987. Nitrogenase activity, photosynthesis and nodule water potential in soy bean plants experiencing water deprivation. *J. Exp. Bot.* 38: 311-321.
- EAGLESHAM, A.R.J. y A. AYANABA. 1984. Tropical stress ecology of *Rhizobia*, Root nodulation and legume fixation *In: Current development in biological nitrogen fixation.* (Ed.) N.S. Subba Rao. Oxford IBH Publishing Co. pp. 1-35.

EHLERINGER, J.R. 1988. Correlation between carbon isotope ratio, water use efficiency and yield. *In: Research on drought tolerance in common bean* (Eds.) J.W. White, G. Hoogenboom, F. Ibarra y S.P. Singh. Docto. de trabajo. 41. Bean program. CIAT; Cali, Colombia. pp. 165-191.

FELIX, J.F., M. OBATON, C.M. MESSIAEN y L. SALSAC. 1981. Nitrate reductase and nitrogenase activities of common beans (*Phaseolus vulgaris* L.) from different geographic locations. *Plant and Soil*. 63: 427-438.

FISHER, R.A. y R. MAURER. 1978. Drought resistance in spring wheat cultivars. I. Grain yield responses. *Aust. J. Agric. Res.* 29: 897-912.

FRANCO, A.A. 1977. Nutritional restraints for tropical grain legumes symbiosis pp. 237-253. *In: Exploiting the legume Rhizobium symbiosis in tropical agriculture*. Eds. J.M. Vincent, A.S. Whitney y J. Bose.

FRANCO, A.A., J.C. PEREIRA y C.A. NEYRA 1979. Seasonal patterns of nitrate reductase and nitrogenase activity in *Phaseolus vulgaris* L. *Plant Physiol.* 63: 421-424.

GIBSON, A.H. 1976. Limitation to dinitrogen fixation by legumes *In: W.E. Newton C.J. Nyman* (Eds.) *Proc. 1st Intl Symp. Nitrogen fixation*. Washington State Univ. Press. Pullman. pp. 400-428.

GIFFORD, R.M., J.H. THORNE, W.D. HITZ y R.T. GIAQUINTA. 1984. *Science* 225: 801.

GRAHAM, P.H. 1981. Some problems of nodulation and symbiotic nitrogen fixation in *Phaseolus vulgaris* L. A review. *Field Crop Res.* 4: 93-112.

GRAHAM, P.H. y J. HALLIDAY. 1977. Inoculation and nitrogen fixation in the genus *Phaseolus*. *In: Exploiting the legumes-Rhizobium symbiosis in tropical agriculture* J.M. Vincent, A.S. Whitney y J. Bose (Eds.) pp. 313-314.

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. Camb. 88: 503-508.

HABISH, H.A. y H.N. ISAGH. 1974. Nodulation of legumes in the Sudan. III Response of Haricot bean to inoculation. *Exp. Agric.* 10: 45-50.

HALTERLEIN, A.J. 1980. Bean, *In: Crop water relations*. Eds. I.D. Teare y M.M. Peet. John Wiley & Sons. pp. 158-185.

HARDARSON, G. 1988. Qualification of nitrogen fixation in common bean (Seibersdorf, Vienna) *In: Status report of the coordinated research programme to improve yield and nitrogen fixation of grain legumes in Latin America with the aim of increasing food production and saving N-fertilizer*. G. Hardarson (Ed.) CRP No. D 1.10.03 Joint FAO-IAEA Program IAEA Seibersdorf Laboratory.

HARDY, R.W.D., R.C. BURNS, R.D. HOLSTEN. 1973. Applications of the acetilene-ethylene assay for measurement of nitrogen fixation. *Soil Biol. Biochem.* 5: 47-51.

HARDY, R.W.D., U.D. HAVELKA. 1976. Photosynthate as a major factor limiting nitrogen fixation with emphasis on soybeans. *In: D.S. Nutman* (Ed.) *Symbiotic nitrogen fixation in plants*. Cambridge University Press. London, pp. 421-439.

HOOGENBOOM, G., J.W. JONES y WHITE. 1988. Use of models in studies of drought tolerance. *In: Research on drought tolerance in common beans* (Eds.) J.W. White, G. Hoogenboom, F. Ibarra y S.P. Singh. Docto. de trabajo No. 41 Bean program. CIAT; Cali, Colombia, pp. 192-230.

- HUNGRIA M. y MCP NEVES. 1984. Seasonal variations on nodule metabolism of *Phaseolus vulgaris*. In: Advances in nitrogen fixation research. Eds. C. Veegar y W.E. Newton, Martinus Nijhoff. Dr. W. Junk Publishers. The Hague. pp. 505.
- HUNGRIA, M. y MCP NEVES. 1986a. Interacao entre cultivares de *Phaseolus vulgaris* e estirpe de *Rhizobium* na fixacao e transporte de nitrogenio. Pesqui. Agropecu. Bras. 21: 127.
- HUNGRIA, M. y MCP NEVES. 1986b. Ontogenia de fixacao biologica do nitrogenio en *Phaseolus vulgaris*. Pesq. Agrop. Bras. 21: 715-730.
- HUNGRIA, M. y MCP NEVES. 1986c. Efeito da manipulacao depotossintato na fixacao biologica de nitrogenio em feijoeiro. Pesq. Agrop. Bras. 21: 9-24.
- HUNGRIA M. y A.A. FRANCO. 1988. Nodule senescence in *Phaseolus vulgaris* L. Trop. Agric. (Trinidad). 65: 341-345.
- HURD, E.A. 1976. Plant Breeding for drought resistance p. 317-353. In: Water deficits and plant growth, Vol. IV Soil water measurement, plant responses and breeding for drought resistance. Kozlowski, T.T. (Eds.) Academic Press, New York.
- IBARRA, F., A. PAJARITO, J. ACOSTA-GALLEGOS, E. REYES., R. RODRIGUEZ. 1987. Frijol de temporal en Durango, In: Avances de investigación agricola en la región de los Llanos, Durango. CIFAP-Durango. pp. 10-19.
- IBARRA, F. 1988. Efecto de sequia en características morfológicas en genotipos de frijol en dos localidades de Durango, México. In: Research on drought tolerance in common bean. (Eds.) J.W. White, G. Hoogenboom, F. Ibarra y S.P. Singh. Docto. de trabajo No. 41 CIAT. pp. 4-42.
- INEGI. 1988. Abasto y comercialización de productos básicos. Instituto Nacional de estadística, geografía e informática. SECOFI. CONASUPO 63 p.
- JOHNSON, A.A., M.D. RUMBAUGH y K.H. ASAY. 1981. Plant improvement for semiarid rangelands: possibilities for drought resistance and nitrogen fixation, In: Soil water and nitrogen in mediterranean-type environments. Eds. J. Monteth y C. Webb. Martinus Nijhoff. The Hague. pp. 279-303.
- KAPLAN, L. y L.N. KAPLAN. 1988. *Phaseolus* in archeology. In: Genetic resources of *Phaseolus* beans. (Ed.) P. Gepts. Kluwer Academic Publisher; Boston. pp. 125-142.
- LAING, D.R., P.J. KIETCHMAR, S. ZULUAGA y P.G. JONES. 1983. Field bean. In: W.H. Smith and S.J. Banta (Eds.) Symposium on potential productivity of field crops under different environments. Los Baños, Phylippines, 1980. (Proceedings) IRRI. pp. 227-248.
- LAING, D.R., P.G. JONES y J.H.C. DAVIS. 1984. Common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) In: The phisiology of tropical field crop. Wiley & Sons. New York. pp. 305-351.
- LARQUE-SAAVEDRA, A., M.T. RODRIGUEZ, C. TREJO y T. NAVA. 1985. Abscissic acid accumulation and water relations of four cultivars of *Phaseolus vulgaris* L. under drought. J. Exp. Bot. 36: 1787-1792.
- LAWN, R.J. y W.A. BRUN. 1974. Symbiotic nitrogen fixation in soybeans. I. Effect of photosynthetic source sink manipulations. Crop. Sci. 14: 11-16.
- LAWRIE, A.C. y C.T. WHEELER. 1973. The supply of photosynthetic assimilates to nodules of *Pisum sativum* L., in relation to fixation of nitrogen. New Phytol. 72: 1341-1348.
- LIE, T.A. 1981. Environmental physiology of the legumes-*Rhizobium symbiosis*, p. 104-134. In: Nitrogen fixation. Vol. I. Ecology. W.J. Broughton (Ed.) Clarendon Press, Oxford.

- MAHON, J.D. 1977. Respiration and the energy requirements for nitrogen fixation in nodulated pea roots. *Plant Physiology* 60: 817-821.
- MAHLER, R.L. y A.G. WOLLUM II. 1981. The influence of soil water potential and soil texture on the survival of *Rhizobium japonicum* and *Rhizobium leguminosarum* isolates in the soil. *Soil Sci. Soc. Amer. J.* 45: 761-766.
- McFERSON, J.R. 1983. Genetic and breeding studies of dinitrogen fixation in common bean. *Phaseolus vulgaris* L. Ph D. Thesis University of Wisconsin. Madison.
- MEDERSKY, H.J. y D.L. JEFFERS. 1973. Yield response of soybean varieties grown at two soils moisture stress levels. *Agron. J.* 65: 410-412.
- MILLAR, A.A. y W.R. GARDNER. 1972. Effect of the soil and plant water potentials on the dry matter production of snap beans. *Agronomy Jour.* 64: 559-562.
- NASS, H.G. y J.D. STERLING. 1981. Comparison, of tests characterizing varieties of barley and wheat for moisture stress resistance. *Can. J. Plant Sci.* 61: 283-292.
- NEVES, MCP y M. HUNGRIA. 1987. The physiology of nitrogen fixation in tropical grain legumes. CRC. critical review in plant science. 6(3): 267-316.
- OSA-AFIANA, L.L. y M. ALEXANDER. 1982. Differences among cowpea *Rhizobium* in tolerance to high temperature and desiccation in soil. *Appl. Env. Microb.* 43: 435-439.
- PARK, S.J. y B.R. BUTTERY. 1988. Nodulation mutants of white bean (*Phaseolus vulgaris* L.) induced by ethyl-methane sulfonate. *Can J. Plant Sci.* 68: 199-202.
- PARSONS, L.R. y T.K. HOWE. 1984. Effect of water stress on the water relations of *Phaseolus vulgaris* and the drought resistant *Phaseolus aculifolius*. *Physiol. Plant.* 60: 197-202.
- PANKHURST, C.E. y J.I. SPRENT. 1975. Effects of water stress on the respiratory and nitrogen fixing activity of soybean root nodules. *J. Exp. Bot.* 26: 287-304.
- PASSIOURA, J.B. 1983. Roots and drought resistance. *Agricultural water management.* 7: 265-280.
- PATE, J.S. 1976. Physiology of the reaction of nodulated legumes environment. p. 335-360. *In: Symbiotic nitrogen fixation in plants.* Nutman, P.S. (Ed.) Cambridge Univ. Press New York.
- PATE, J.S. y F.R. MINCHIN. 1980. Comparative studies on carbon and nitrogen nutrition of selected grain legume. *In: advances in legumes science.* Summerfield, R.J. y A.H. Bunting (Eds.) Royal.
- PEÑA-CABRIALES, J.J. 1988. Nitrogen fixation of 20 cv of *Phaseolus vulgaris* in México. *In: Status report of the coordinated research program to improve yield and nitrogen fixation of grain legumes in Latin America with aim of increasing food production and saving N fertilizer,* CRA No. DI. 40.03. G. Hardarson. (Ed.) Joint/IAEA. Progr. IAEA. Seibersdorf, Viena. pp. 48-54.
- PEÑA-CABRIALES, J.J. 1989. Time course of N₂ fixation in common bean *Phaseolus vulgaris* as quantified by the ¹⁵N dilution method. *Soil Biol. & Biochem.* (Submitted).
- PEÑA-CABRIALES, J.J. y M. ALEXANDER. 1979. Survival of *Rhizobium* in soil undergoing drying. *Soil Sci. Soc. Amer. J.* 43: 962-966.
- PEREIRA, P. A.A., R.S. ARAUJO, R., E.M. DA PIAUCHA y S. STEINMETZ. 1984. Capacidad de genotipos de feijoeiro de fixin N₂ atmosférico. *Pesq. Agropec.* 19: 811-815.

- PHIA, M.I. y D.N. MUNNS. 1987. Nitrogen fixation potential of beans (*Phaseolus vulgaris* L.) compared with grain legumes under controlled conditions. *Plant and Soil* 98: 169-182.
- PRATT, R.C. y G.P. NABHAN. 1988. Evolution and diversity of *Phaseolus acutifolius* Genetic resources. In: Genetic resources of *Phaseolus* beans. Ed. P. Guepts. Kluwer Academic Publishers, Boston. pp. 485-502.
- RENNIE, R.J. y G.A. KEMP. 1981a. Dinitrogen fixation in pea beans (*Phaseolus vulgaris* L.) as affected by growth stage and temperature regime. *Can J. Bot.* 59: 1181-1188.
- RENNIE, R.J. y G.A. KEMP. 1981b. Selection for dinitrogen fixing ability in *Phaseolus vulgaris* L. at low temperature regimes. *Euphytica*. 30: 87-95.
- RENNIE, R.J. y G.A. KEMP. 1983a. N_2 fixation in field beans quantified by ^{15}N isotopic dilution I. Effect of strain of *Rhizobium phaseoli* J. 75: 640-644.
- RENNIE, R.J. y G.A. KEMP. 1983b. N_2 fixation in field beans quantified by ^{15}N isotopic dilution. II Effects of cultivars of beans. *Agron. J.* 75: 645-649.
- ROBINS, J.R. y C.E. DOMINGO. 1956. Moisture deficits in relation to the growth and development of dry beans *Agron. J.* 48: 67-70.
- ROSAS, J.C. y F.A. BLISS. 1986. Host plant traits associated estimator of nodulation and nitrogen fixation in common bean. *Hort. Science* 21: 287-289.
- RUSCHEL, A.P., P.B. VESE, E. MATSULI, R.L. VISTORIA y S.M. SAITO. 1982. Field evaluation of N_2 fixation and N utilization by *Phaseolus* bean varieties. Determined by ^{15}N isotopic dilution. *Plant and Soil*. 65: 397-407.
- SAITO, S.M.T., M. NAZARETH, S. MONTANEHIRO, R.C. VISTORIA y K. REICHARDT. 1984. The effect of N fertilizer and soil moisture on the nodulation and growth of *Phaseolus vulgaris*. *J. Agric. Sci. Camb.* 103: 87-93.
- SAITO, S.M.T., E. MATSUI y E. SALATI. 1980. ^{15}N fixation, H_2 evolution and C_2H_2 reduction relationships in *Phaseolus vulgaris*. *Pesq. Agro. Bras.* 21: 715-730.
- SAMPER, C. y M.W. ADAMS. 1985. Genetic mean of stress and control yield as a selection criterion for drought tolerance. *Ann. Report. Bean Improv. Coop.* 28: 53-54.
- SCHUBERT, K.R. y H.J. EVANS. 1976. Hydrogen evolution: a major factor affecting the efficiency of nitrogen fixation in nodulated symbionts. *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.* 73: 1207-1211.
- SINGH, S. y J. WHITE. 1988. Breeding common beans for adaptation to drought conditions. In: Research on drought tolerance in common bean. (Eds.) J.W. White, G. Hoogenboom, F. Ibarra y S.P. Singh, Docto. de trabajo No. 41. Bean Program, CIAT. Cali, Colombia, pp. 261-291.
- SPRENT, J.I. 1971. The effects of water stress on nitrogen fixing root nodules. *New Phytologist*. 70: 9-17.
- SPRENT, J.I. 1981. Nitrogen fixation, In: L.G. Paleg y D. Aspinall (Eds.). *The Physiology and biochemistry of drought resistance in plants*. Academic. Press. pp. 131-142.
- SPRENT, J.I. 1982. Nitrogen fixation in grain legumes in the U.K. *Phil. trans. R. Soc. Lond.* 296-387.
- SPRENT, J.I. y J.A. RAVEN. 1985. *Proc. Roy. Soc. (Edinburg)* 85: 215.

- STANSELL, J.R. y D.A. SMITILE. 1980. Effects of irrigation regimes on yield and water use of snap bean *Phaseolus vulgaris* L. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 105: 869-873.
- ST CLAIRE, D.A., J.C. ROSAS, F.A. BLISS, J.D. DUBOIS, R.H. BURRIS. 1985. Evaluation of N₂ fixation and N-partitioning in common bean using ¹⁵N depleted (NH₄)₂ SO₄ and acetilene reduction. Hort. Science. 20: 586.
- STOCKER, R. 1974. Effect on dwarf beans of water stress at different phases of growth. N.L. Exp. Academic Press. pp. 131-142.
- TAPIA, C.A. 1988. Características de la producción de maíz y frijol en el Estado de Guanajuato. CEBAJ-GTO. Informe Técnico.
- THOMAS, R.J., J.R. McFERSON, L.E. SCHRODER y F.A. BLISS. 1984. Composition of bleeding sap nitrogen from lines of field-grown *Phaseolus vulgaris* L. Plant and Soil. 79: 77-88.
- TOSSO, J.E. 1979. Effects of different levels of applied water on the vegetative growth, yield and water production function in dry beans (*Phaseolus vulgaris* L.). Ph. D. Thesis University of California, Davis. p. 125.
- TURNER, N.C. 1986. Plant adaptation to water deficits: A changing perspective. Aust. J. Plant Physiol. 13: 175-190.
- TURNER, M.C. y M.M. JONES. 1980. Turgor maintenance by osmotic adjustment: A review and evaluation. In: Adaptation of plants to water and high temperature stress. Eds. N.C. Turner y P.J. Kramer. Wiley Interscience. New York. pp. 87-103.
- VINCENT, J.M. 1974. Root nodule symbiosis with *Rhizobium*. In: The biology of nitrogen fixation (Eds.) A. Quispel. North Holland Publ. Co., Amsterdam. pp. 266-341.
- WAINES, J.G., R.M. MANSHARDT y W.C. WELLS. 1988. Interspecific hybridization between *Phaseolus vulgaris* and *P. acutifolius*. In: Genetic resources of *Phaseolus* beans. Ed. P. Gepts. Kluwer Academic Publisher, Boston, pp. 485-502.
- WALKER, G.K. y J.L. HATFIELD. 1979. Test of the stress degree days concept using multiple planting dates of red kidney beans. Agronomy Jour. 71: 967-971.
- WEISZ, P.R., R.F. DENISON, y T.R. SINCLAIR. 1985. Response to drought stress at nitrogen fixation (acetilene reduction) rate by field grown soybeans. Plant Physiol. 78: 525-530.
- WESTERMAN, D.T. y J.J. KOLAR. 1978. Symbiotic N₂ (C₂H₂) fixation by beans. Crop. Sci. 18: 986-990.
- WESTERMAN, D.T., L.K. PORTER y W.A. O'DEEN. 1985. Nitrogen partitioning and mobilization patterns in Bean Plants. Crop. Sci. 25: 225-229.
- WESTERMAN, D.T., G.E. KLEINKOPF, L.K. PORTER y G.E. LOGGET. 1981. Nitrogen sources for bean seed production. Agron. Jour. 73: 660-664.
- WHITE, J.W. y J.A. CASTILLO. 1988. Studies at CIAT on mechanisms of drought tolerance in common bean, (Eds.) J.W. White, G. Hoogenboom, F. Ibarra y S.P. Singh Docto. de trabajo No. 41. CIAT pp. 146-164.
- ZABLOTOWICZ, R.M., D.D. FOCHT y G.H. CANNELLI. 1981. Nodulation and nitrogen fixation of field grown cowpeas as influenced by well irrigated and droughted conditions. Agro. J. 73: 9-12.
- ZULUAGA, S., C.M. ELVIR, C. RODRIGUEZ y J.D. ERAZO. 1988. Investigaciones sobre tolerancia a sequía en frijol en Honduras. In: Research on drought tolerance in common bean. Eds. J.W. White, G. Hoogenboom, F. Ibarra y S.P. Singh. Docto. de trabajo No. 41. pp. 69-90.

**PAPEL DE LA ENDOMICORRIZA V-A EN LA TRANSFERENCIA DE
EXUDADOS RADICALES ENTRE FRIJOL Y MAIZ SEMBRADOS EN
ASOCIACION BAJO CONDICIONES DE CAMPO**

**The Role of V-A Mycorrhizae in the Transfer of Root
Exudates Between Associated Bean and Corn
Plants Under Field Conditions**

R.A. Guzmán-Plazola¹⁾, R. Ferrera-Cerrato¹⁾ y G.J. Bethlenfalvay²⁾

Colegio de Postgraduados, 56230 Montecillo, Méx.¹⁾

**Western Regional Research Center, USDA-ARS, Albany,
CA 9470, U.S.A.²⁾**

Palabras clave: Micorriza, Exudados radicales,
Cultivos asociados.

Index words: Mycorrhizae, Root exudates, Plant
associations.

RESUMEN

En un experimento de campo con suelo fumigado, se cultivó maíz y frijol de tal forma que sus raíces quedasen en posibilidad de ser interconectadas por micelio de hongos micorrizicos vesiculo-arbusculares (MVA). Para evitar que la raíz de una especie se mezclara con la de la otra, las plantas quedaron separadas por barreras de unicel (3.5 cm de grosor). En algunos tratamientos, fueron colocadas o no ventanas (600 cm²) con un sistema de doble malla (44 m de diámetro de poros) en ambos lados de la barrera, lo cual permitió mantener una zona intermedia con suelo libre de raíces donde fue posible el paso de las hifas micorrizicas conectadas a las plantas de ambos lados de la ventana. Fueron evaluados cuatro tratamientos: 1) frijol inoculado con hongos MVA, maíz no inoculado, 2) maíz inoculado, frijol no

inoculado, 3) ninguna planta inoculada y 4) ninguna planta inoculada, barrera sin ventana. El micelio de los hongos micorrizicos fue capaz de formar interconexiones entre ambas especies y colonizar el sistema radical de las plantas no inoculadas. Las plantas de frijol pertenecientes al tratamiento 2, micorrizadas a través de la llegada de hifas procedentes del maíz, tuvieron mayor crecimiento y contenido de N y P que las correspondientes al tratamiento 3. Las plantas de maíz del tratamiento 1, micorrizadas por micelio procedente del frijol, tuvieron un crecimiento similar a las del testigo sin micorriza. El crecimiento de ambas especies no pudo ser atribuido al posible transporte de nutrimentos a través de los hongos MVA. Dado que las plantas no micorrizadas separadas por la barrera de poliestireno sin ventana, crecieron menos y fueron más deficientes de N y P que las plantas no micorrizadas separadas por la barrera con la doble malla, se concluye que el intercambio de exudados radicales modificó positivamente el efecto de la micorriza sobre el crecimiento de las plantas.

SUMMARY

The roots of bean and corn plants grown in the field as intercrops were shown to be

connected by the mycelia of vesicular-arbuscular mycorrhizal (VAM) fungi. Both crop species were planted in fumigated soil, and to prevent an intermingling of roots, the plants were separated by rubber-foam barriers. Screened (44µm openings) windows (600 cm²) in the barriers were permeable by fungi (hyphae only, which connected plants growing on opposite sides of the windows). Double screens, affixed to the two sides of the 3.5 cm wide barrier provided root-free zones of soil between associated corn and bean plants. There were four treatments: 1) bean plants only inoculated with VAM fungi, 2) corn only inoculated, 3) neither plant inoculated, and 4) neither plant inoculated and separated by a solid (windowless) barrier. The VAM mycelium formed bridges through the root-free soil zones between plants, and colonized the roots of the initially uninoculated plants. The initially uninoculated bean plants of treatment 2 were larger and had greater N and P contents than those of non VAM plants of treatment 3. The initially uninoculated corn plants of treatment 1, however, were not superior to the non VAM controls. Growth effects of either species could not be ascribed to interplant nutrient transport by fungi. Since non VAM plants separated by the solid barrier were smaller and more deficient in N and P than non VAM plant separated by screens, it is concluded that an exchange of stimulatory substances originating from the associated plant root zones modifies mycorrhiza-mediated growth effects.

INTRODUCCION

Las leguminosas aportan cantidades significativas de nitrógeno en los ecosistemas a través de la fijación biológica de N₂. En sistemas de cultivo asociado, estas plantas son un factor importante para obtener alta productividad en forma sostenida cuando el uso de insumos es reducido (Granados, 1989). En praderas mixtas se ha determinado que las leguminosas son capaces de transferir una cantidad significativa de nitrógeno a los pastos que se hayan asociados, la cual puede representar de 25 a 80% del nitrógeno total

presente en la gramínea, dependiendo del tipo de especies involucradas, el manejo y la edad del cultivo (Brophy *et al.*, 1987; Ta y Faris, 1987a y 1987b; Burity *et al.*, 1989). Este fenómeno ha sido explicado por la excreción de compuestos nitrogenados por el sistema radical y la descomposición de nódulos y raíces (Ta *et al.*, 1986; Ta y Faris, 1987a y 1987b; Burity *et al.*, 1989).

En diversas investigaciones se ha demostrado que los hongos endomicorrizicos V-A estimulan la actividad fijadora de nitrógeno debido generalmente a su efecto en el mejoramiento de la capacidad de absorción de fosfatos del suelo (Barea y Azcón-Aguilar, 1983; Guzmán-Plazola y Ferrera-Cerrato, 1990). Estos hongos también están involucrados en la transferencia inter e intraespecífica de carbono, nitrógeno y fósforo entre plantas, mediante translocación a través de puentes hifales formados a nivel radical o mediante el mejoramiento de la capacidad de las plantas aceptoras micorrizadas para absorber los compuestos exudados por las especies donadoras (Chiariello *et al.*, 1982; Francis *et al.*, 1986; Grime *et al.*, 1987; Heap y Newman, 1980; Hirrel y Gerdemann, 1979; Newman y Ritz, 1986; Ritz y Newman, 1984; Van Kessel *et al.*, 1985; Whittingham y Read, 1982). Se ha sugerido que las interconexiones hifales, además de favorecer la sobrevivencia de plántulas en condiciones de competencia (Read *et al.*, 1976; Whittingham y Read, 1982), en comunidades vegetales son un mecanismo para la conservación de nutrimentos presentes en raíces micorrizadas en descomposición, sin que estos pasen al suelo (Janos, 1983) y son también un factor importante en la diversidad vegetal (Francis *et al.*, 1986; Grime *et al.*, 1987); sin embargo, hasta el presente es reducido el número de especies que se han examinado con el propósito de evaluar ese fenómeno (Newman, 1988).

En los agroecosistemas tradicionales de México es muy frecuente la siembra de varias especies en forma asociada; en ellos son muy comunes el maíz y el frijol. En algunos casos estos sistemas no involucran el uso de fertilizantes químicos, por lo que es posible

que además del aporte de los residuos vegetales provenientes de la parte aérea, la transferencia directa o indirecta de nitrógeno y otros nutrimentos a nivel radical entre la leguminosa y la gramínea, sea un factor importante en el mantenimiento de la productividad bajo tales condiciones. En este caso la acción de los hongos endomicorrízicos podría ser un elemento clave.

En el presente trabajo se estudió la formación de interconexiones hifales entre maíz y frijol sembrados en forma asociada en condiciones de campo, y su efecto sobre la producción de biomasa y contenido nitrógeno y fósforo de cada cultivo.

MATERIALES Y METODOS

Se estableció un experimento en condiciones de campo, en un suelo con profundidad media de 70 cm, que contenía 11 ppm P (Olsen), 0.07% de N, 1.23% de materia orgánica y 0.34, 23.1, 5.42 y 42 mg/g de K, Ca, Mg y Na, respectivamente.

Se sembró maíz asociado con frijol pero con sus sistema radicales separados ya sea por una doble malla o por una barrera de unícel grueso (3.5 cm). Según el tratamiento se inocularon las plantas de maíz o de frijol de cada unidad experimental con hongos endomicorrízicos V-A o se dejaron sin inocular. Con la inoculación de una de las especies en los tratamientos con malla se esperaba que el hongo micorrízico además de colonizar a la planta tratada, atravesara las mallas y colonizara el sistema radical de las plantas contiguas afectando así su desarrollo y contenido nutricional, ya sea por el efecto micorrízico *per se* o por la transferencia de nutrimentos. En este reporte denominaremos "donadoras" a las plantas inoculadas y "ceptoras" a las plantas no inoculadas pero que recibieron micelio por transferencia directa de las inoculadas.

Se evaluaron los siguientes tratamientos:

1. Frijol (donador) inoculado con hongos micorrízicos y maíz no inoculado (ceptor). Sistemas radicales separados mediante una doble malla.
2. Frijol no inoculado (ceptor) y maíz inoculado (donador). Sistemas radicales separados mediante una doble malla.
3. Ambas especies sin inóculo micorrízico. Sistemas radicales separados mediante una doble malla.
4. Ambas especies sin inóculo micorrízico. Sistemas radicales separado por una barrera de unícel de 3.5 cm de grosor.

En los tratamientos 1, 2 y 3 el sistema de mallas sólo permitió el paso de las hifas micorrízicas pero no de las raíces. Antes del establecimiento del experimento las mallas fueron colocadas a ambos lados de las placas de unícel de 100 cm de largo x 100 cm de alto x 3.5 cm de grosor, abriendo para tal efecto una ventana de 30 x 20 cm. El espacio entre mallas fue rellenado con suelo fumigado previamente. En el tratamiento 4 se utilizaron placas de unícel sin ventana.

Para la preparación de las unidades experimentales, en la parte central de cada una de ellas se procedió a excavar una fosa de 2 m de largo x 1 m de ancho y 80 cm de profundidad. La ubicación de las excavaciones en todo el experimento fue definida con base en un diseño en bloques al azar con cuatro repeticiones. Dada la escasa profundidad del suelo fue necesario romper de 10 a 20 cm de tepetate para lograr una profundidad uniforme. En la parte central de las fosas correspondientes a los tratamientos con mallas, se colocaron en forma perpendicular dos placas de unícel con el sistema de doble malla descrito anteriormente (Figura 1). La periferia de cada fosa fue delimitada mediante una barrera de unícel sin perforaciones. En el tratamiento 4 se colocaron placas sin ventana en todos los casos.

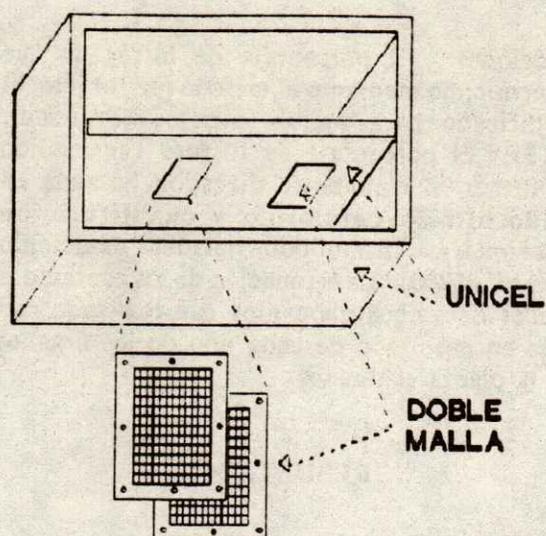


Figura 1. Distribución de las placas de unisel y mallas en la parcela útil, en campo.

Una vez colocadas las barreras de unisel se procedió a rellenar cada fosa con el suelo extraído previamente. La zona donde fueron colocadas las placas centrales de cada unidad

experimental correspondió al área de siembra de un surco normal. La unidad experimental constó finalmente de tres surcos de 3 m de largo, separados 90 cm entre sí. El área útil de cada parcela quedó delimitada por los bordes de las placas de unisel (Figura 2).

Quince días antes de la siembra, cada unidad experimental fue fumigada con 7.5 libras de bromuro de metilo, utilizando polietileno de color negro como cubierta, la cual fue retirada una semana después. Durante la semana siguiente el suelo fue revuelto diariamente con una pala para facilitar la liberación del biocida.

La siembra fue realizada el 17 de julio de 1989; la distancia entre matas dentro de cada surco fue de 1 m; se sembraron cinco semillas de cada especie con el propósito de dejar las dos plántulas más vigorosas. En la parcela útil (dos matas de cada especie por parcela), el maíz y el frijol fueron sembrados por separado en lados opuestos de la barrera, de

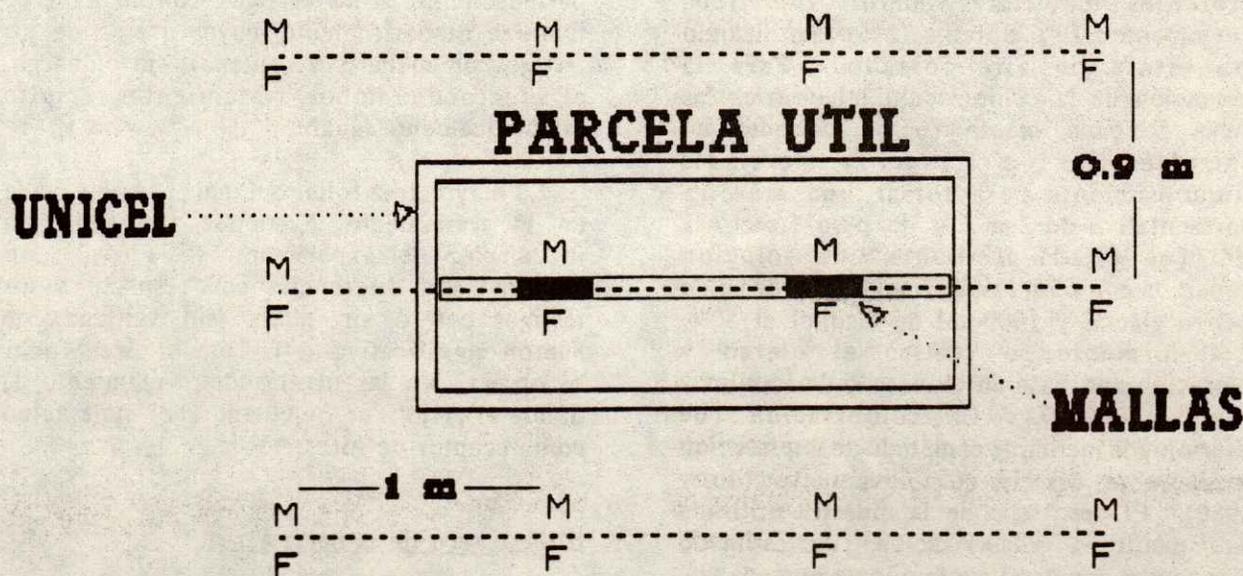


Figura 2. Características de la unidad experimental. M = maíz F = frijol. En campo.

tal forma sus raíces quedasen posteriormente en contacto con la parte externa de las mallas. En los tratamientos inoculados se depositaron junto con la semilla de la especie apropiada 100 ml de suelo-inóculo que contenía aproximadamente 1200 esporas de hongos endomicorrízicos y 1 g de raíces de alfalfa con 75% de colonización por la cepa Zac-3 de *Glomus sp.* Todas las semillas de frijol fueron impregnadas, al momento de la siembra, con inoculante a base de turba, que contenía 1×10^8 bacterias de *Rhizobium leguminosarum* bv *phaseoli* CPMEX-1 g^{-1} de turba. En ningún caso se aplicaron fertilizantes al suelo.

Se efectuó un muestreo a 75 días de la siembra. Fue revisada la totalidad del suelo disponible en el sistema radical de cada especie con el propósito de coleccionar las raíces para su evaluación posterior. En cada especie se evaluó el área foliar, el peso seco de la parte aérea, el peso seco y volumen de raíz, la colonización micorrízica y el contenido de nitrógeno y fósforo en parte aérea y raíz.

El área foliar fue evaluada inmediatamente después del muestreo, mediante un integrador de área marca Li-Cor modelo LI-3050A. Para la determinación de los pesos secos, los diferentes materiales fueron sometidos previamente a 70°C durante 72 horas utilizando una estufa de aire forzado. Para la evaluación de la colonización micorrízica las raíces de cada planta fueron cortadas en segmentos de 1 a 1.5 cm y mezcladas cuidadosamente para tomar una muestra representativa de 2 a 3 g de peso fresco, la cual fue fijada mediante una solución preparada con 65 ml de formol, 25 ml de ácido acético glacial y 1000 ml de alcohol al 50%; posteriormente se realizó el clareo y coloración con base en el método de Phillips y Hayman (1970). La colonización fue determinada mediante el método de intersección de cuadrantes descrito por Giovannetti y Mosse (1980). El peso seco de la muestra utilizada para medir la micorrización fue estimado tomando en cuenta el contenido de humedad de la fracción remanente. El peso seco de raíz fue calculado sumando el peso seco de ambas

fracciones. El porcentaje de nitrógeno fue determinado mediante el método microkjeldahl modificado para incluir nitratos (Bremner, 1975). El porcentaje de fósforo fue medido utilizando el método de digestión húmeda en ácido nítrico-perclórico y cuantificación colorimétrica en molibdo-vanadato de amonio (AOAC, 1980). La estimación de los contenidos totales de ambos elementos fue realizada con base en peso seco de cada uno de los órganos de la planta evaluados.

RESULTADOS

a) Área foliar.

Las plantas de frijol inoculadas con el hongo endomicorrízico (tratamiento 1) tuvieron mayor área foliar que las no inoculadas, correspondientes a los testigos con malla o con la barrera de unicel (sin ventana), o a las parcelas donde el frijol actuó como aceptor de hifas (Cuadro 1). En este último caso el área fue menor a la observada en el tratamiento 1 pero mayor que la de los testigos; sin embargo, en términos estadísticos no tuvo diferencias significativas con ninguno de ellos. El área foliar observada en las plantas no inoculadas, pertenecientes a los testigos con malla, fue también numéricamente mayor que la de los testigos sin malla (sin ventana), sin embargo, el efecto de ambos tratamientos resultó estadísticamente igual.

La mayor área foliar del maíz fue observada en el tratamiento 2, donde se realizó la inoculación del experimento (Cuadro 1); sin embargo, las diferencias con respecto a los testigos con o sin malla (sin ventana) no fueron significativas. La menor área foliar se observó en las plantas del tratamiento 1, donde el frijol fue inoculado y el maíz actuó como aceptor de hifas.

b) Peso seco de la parte aérea.

La biomasa de los tallos y hojas de las plantas de frijol mostró un comportamiento

Cuadro 1. Área foliar (cm²) de frijol y maíz sembrados en asociación, con diferentes tipos de interacción radical.

Tratamiento ¹⁾	Frijol	Maíz
1. Frijol donador, maíz aceptor (Frijol inoculado + malla)	5654.4a	2650.1b
2. Maíz donador, frijol aceptor (Maíz inoculado + malla)	3338.7ab	4315.3a
3. Testigo I (Sin inóculo + malla)	1897.6 b	3641.6a
4. Testigo II (Sin inóculo, con barrera de unisel y sin malla)	1379.0 b	3017.8ab

- 1) Las plantas de frijol del tratamiento 1 y las de maíz del tratamiento 2 fueron inoculadas con el hongo *Glomus* sp Zac-3.
- 2) Las medias de cada columna que tienen la misma letra son estadísticamente iguales (P = 0.05).

similar al de su área foliar (Cuadro 2). El valor más alto fue obtenido, en todos los casos, con el tratamiento 1, donde se realizó la inoculación directa (frijol donador). Cuando esta especie actuó como aceptora de hifas se obtuvo un resultado intermedio entre el tratamiento anterior y los testigos; el cual fue, con excepción del peso seco de hojas, significativamente más alto que el alcanzado con el tratamiento sin malla (sin ventana) y sin inoculación, que produjo los promedios más bajos.

Cuadro 2. Peso seco¹⁾ de la parte aérea de frijol sembrado en asociación con maíz, con diferentes tipos de interacción radical.

Tratamiento ²⁾	Hojas	Tallos
1. Frijol donador, maíz aceptor (frijol inoculado + malla)	21.7 a	23.7 a
2. Maíz donador, frijol aceptor (Maíz inoculado + malla)	14.0 ab	13.5 b
3. Testigo I (Sin inóculo + malla)	9.4 b	9.2 bc
4. Testigo II (Sin inóculo, con barrera de unisel y sin malla)	5.8 b	7.2 c

- 1) El peso seco de los tallos incluye a los pecíolos. El peso de las hojas solo incluye a la lámina foliar.
- 2) Las plantas de frijol del tratamiento 1 y las de maíz del tratamiento 2 fueron inoculadas con el hongo *Glomus* sp Zac-3.
- 3) Las medias de cada columna que tienen la misma letra son estadísticamente iguales (P = 0.05).

Los pesos secos de hojas y tallo de las plantas de maíz donadoras, fueron similares a los observados en el testigo con malla, no inoculado (Cuadro 3). Para el caso de las hojas, cuando el maíz actuó como aceptor de hifas produjo valores estadísticamente iguales a los anteriores pero muy cercanos a los observados en el testigo sin malla (sin ventana).

Cuadro 3. Peso seco (g) de la parte aérea de maíz sembrado en asociación con frijol, con diferentes tipos de interacción radical.

Tratamiento ¹⁾	Hojas	Tallo
1. Frijol donador, maíz aceptor (frijol inoculado + malla)	21.0 ab	15.3 b
2. Maíz donador, frijol aceptor (Maíz inoculado + malla)	27.2 ab	28.5 a
3. Testigo I (Sin inóculo + malla)	30.7 a	32.5 a
4. Testigo II (Sin inóculo, con barrera de unisel y sin malla)	19.5 b	15.1 b

- 1) Las plantas de frijol del tratamiento 1 y las de maíz del tratamiento 2 fueron inoculadas con el hongo *Glomus* sp Zac-3.
- 2) Las medias de cada columna que tienen la misma letra son estadísticamente iguales (P = 0.05).

c) Peso seco y volumen de raíz.

El mayor peso seco de raíz en el frijol correspondió a las plantas inoculadas al inicio del experimento. En las parcelas donde el maíz se utilizó como donador de hifas se observaron valores menores pero estadísticamente iguales al anterior (Cuadro 4). Los pesos secos de raíz de las plantas testigo resultaron significativamente más bajos, particularmente cuando el sistema radical fue separado por la barrera de unisel sin ventana.

De la misma forma que el peso seco de raíz, las plantas de frijol inoculadas con hongos endomicorrizicos mostraron mayor volumen radical que los testigos con o sin malla (barrera de unisel sin ventana).

El mayor peso seco radical del maíz fue observado en las plantas inoculadas al inicio

del experimento. Las plantas que actuaron como aceptadoras de hifas procedentes del frijol tuvieron un valor más bajo y no mostraron incrementos respecto al testigo con malla, pero sí respecto al testigo sin malla (sin ventana), el cual mostró los valores más bajos.

Las plantas de maíz inoculadas al inicio del experimento (donadoras) tuvieron mayor volumen radical que las pertenecientes a los demás tratamientos (Cuadro 5); sin embargo, el promedio solo fue significativamente mayor que el de las plantas sembradas en calidad de testigo sin malla (sin ventana) y con su sistema radical separado por una barrera de unisel.

Cuadro 4. Peso seco (g) y volumen (ml) de la raíz de frijol sembrado en asociación con maíz, con diferentes tipos de interacción radical.

Tratamiento ¹⁾	Peso	Volumen
1. Frijol donador, maíz aceptor (frijol inoculado + malla)	4.5 a	17.3 a
2. Maíz donador, frijol aceptor (Maíz inoculado + malla)	3.8 a	18.7 a
3. Testigo I (Sin inóculo + malla)	2.5 b	9.0 b
4. Testigo II (Sin inóculo, con barrera de unisel y sin malla)	1.8 b	13.0 b

- 1) Las plantas de frijol del tratamiento 1 y las de maíz del tratamiento 2 fueron inoculadas con el hongo *Glomus* sp Zac-3.
- 2) Las medias de cada columna que tienen la misma letra son estadísticamente iguales (P = 0.05).

Cuadro 5. Peso seco (g) y volumen (ml) de la raíz de maíz sembrado en asociación con frijol, con diferentes tipos de interacción radical.

Tratamiento ¹⁾	Peso	Volumen
1. Frijol donador, maíz aceptor (frijol inoculado + malla)	5.9 b	34.0 ab
2. Maíz donador, frijol aceptor (Maíz inoculado + malla)	9.8 a	55.0 a
3. Testigo I (Sin inóculo + malla)	5.5 bc	46.8 a
4. Testigo II (Sin inóculo, con barrera de unisel y sin malla)	3.8 c	18.0 b

- 1) Las plantas de frijol del tratamiento 1 y las de maíz del tratamiento 2 fueron inoculadas con el hongo *Glomus* sp Zac-3.
- 2) Las medias de cada columna que tienen la misma letra son estadísticamente iguales (P = 0.05).

d) Colonización micorrizica.

Las plantas de frijol que fueron inoculadas a inicios del experimento mostraron mayor porcentaje de raíz micorrizada que las que actuaron como aceptoras de hifas procedentes del maíz. Similarmente, las plantas de maíz que fueron inoculadas al inicio del experimento tuvieron mayor colonización micorrizica que las aceptoras de hifas procedentes del frijol. En ambas especies, las plantas testigo mostraron cierto grado de contaminación, pero la magnitud de esta fue muy baja comparada con la colonización observada en los tratamientos anteriores (Cuadro 6).

El maíz se mostró más susceptible a la colonización que el frijol, aún en las parcelas donde actuó como aceptor de hifas. El frijol inoculado desde el principio del experimento (donador), tuvo en promedio 1.6 veces menos porcentaje de colonización que el maíz sometido al mismo tratamiento. Cuando el frijol actuó como planta aceptor tuvo 2.5 veces menos. La proporción de colonización entre donador y aceptor en el tratamiento 1 (frijol donador) fue de 1.5:1, mientras que en el tratamiento 2 (maíz donador) fue de 5.8:1.

Cuadro 6. Porcentaje de longitud de raíz micorrizada de frijol y de maíz sembrados en asociación con sus sistemas radicales separados por una doble malla o por una barrera de unisel.

Tratamiento ¹⁾	Frijol	Maíz
1. Frijol donador, maíz aceptor (frijol inoculado + malla)	32.8 a	22.4 b
2. Maíz donador, frijol aceptor (Maíz inoculado + malla)	9.0 b	52.5 a
3. Testigo I (Sin inóculo + malla)	0.5 c	2.2 c
4. Testigo II (Sin inóculo, con barrera de unisel y sin malla)	0.4 c	1.3 c

- 1) Las plantas de frijol del tratamiento 1 y las de maíz del tratamiento 2 fueron inoculadas con el hongo *Glomus* sp Zac-3.
- 2) Las medias de cada columna que tienen la misma letra son estadísticamente iguales (P = 0.05).

e) Contenido de nitrógeno.

La presencia de micorriza determinó incrementos significativos en el contenido de nitrógeno de las plantas de frijol (Cuadro 7). Con la inoculación al inicio del experimento se obtuvieron los mayores niveles de ese elemento en raíz, tallos y hojas, pero las cantidades observadas en las plantasceptoras de hifas (tratamiento 2), aunque fueron numéricamente menores, resultaron estadísticamente iguales. Los contenidos de nitrógeno de los testigos con malla o con la barrera de unicel (sin ventana) fueron considerablemente más bajos que los obtenidos en presencia del hongo, pero en el caso de las hojas el valor resultó estadísticamente igual al de las plantasceptoras de hifas. El testigo sin malla (sin ventana), aunque tuvo menor contenido de nitrógeno en hojas y tallos que el testigo con malla y un contenido radical menor que el de las plantas del tratamiento 2, no presentó diferencias significativas en ninguno de estos casos (Cuadro 7).

Los mayores contenidos de nitrógeno en las raíces, tallos y hojas de maíz, fueron observados en las plantas micorrizadas, principalmente en las parcelas donde el hongo micorrízico fue aplicado al inicio del

experimento (Cuadro 8). Los valores inmediatos inferiores correspondieron a las plantasceptoras de hifas procedentes de las raíces del frijol (tratamiento 1). El testigo con malla, aunque tuvo contenidos más bajos que en los tratamientos anteriores, sólo en el caso de la raíz mostró diferencias significativas con respecto a ellos. Las plantas sembradas sin micorriza y con la barrera de unicel (sin ventana) tuvieron aún más bajo contenido de nitrógeno que las cultivadas sin inoculación y con malla, pero las diferencias con respecto a este tratamiento sólo fueron significativas en el caso de los tallos.

f) Contenido de fósforo.

La inoculación del frijol al inicio del experimento permitió acumular mayores niveles de fósforo en raíces, tallo y hojas que en los testigos y en las plantasceptoras de hifas (tratamiento 2), pero en estas últimas las diferencias con respecto al tratamiento 1 sólo fueron significativas en el caso del fósforo foliar. Los valores observados en las plantasceptoras fueron considerablemente más altos que los obtenidos en los testigos, particularmente en los tallos. No se detectaron diferencias entre testigos en este muestreo (Cuadro 9).

Cuadro 7. Contenido de nitrógeno (mg) en frijol sembrado en asociación con maíz, con diferentes tipos de interacción radical.

Tratamiento ¹⁾	Raíz	Tallo	Hojas
1. Frijol donador, maízceptor (frijol inoculado + malla)	112.5a	836.8a	1176.3a
2. Maíz donador, frijolceptor (Maíz inoculado + malla)	86.3ab	692.5a	821.1ab
3. Testigo I (Sin inóculo + malla)	53.6c	317.3b	490.1bc
4. Testigo II (Sin inóculo, con barrera de unicel y sin malla)	62.3bc	261.9b	324.1c

1) Las plantas de frijol del tratamiento 1 y las de maíz del tratamiento 2 fueron inoculadas con el hongo *Glomus* sp Zac-3.

2) Las medias de cada columna que tienen la misma letra son estadísticamente iguales ($P = 0.05$).

Cuadro 8. Contenido de nitrógeno (mg) en maíz sembrado en asociación con frijol, con diferentes tipos de interacción radical.

Tratamiento ¹⁾	Raíz	Tallo	Hojas
1. Frijol donador, maíz aceptor (frijol inoculado + malla)	139.2ab	836.3a	619.6ab
2. Maíz donador, frijol aceptor (Maíz inoculado + malla)	174.2a	796.0a	860.9a
3. Testigo I (Sin inóculo + malla)	123.0b	698.6a	667.5ab
4. Testigo II (Sin inóculo, con barrera de unisel y sin malla)	119.2b	435.4b	504.4 b

- 1) Las plantas de frijol del tratamiento 1 y las de maíz del tratamiento 2 fueron inoculadas con el hongo *Glomus* sp Zac-3.
2) Las medias de cada columna que tienen la misma letra son estadísticamente iguales (P = 0.05).

Cuadro 9. Contenido de fósforo (mg) en frijol sembrado en asociación con maíz, con diferentes tipos de interacción radical.

Tratamiento ¹⁾	Raíz	Tallo	Hojas
1. Frijol donador, maíz aceptor (frijol inoculado + malla)	8.6a	70.4a	85.6a
2. Maíz donador, frijol aceptor (Maíz inoculado + malla)	5.4ab	48.6a	50.7 b
3. Testigo I (Sin inóculo + malla)	2.9 b	21.0b	33.5 b
4. Testigo II (Sin inóculo, con barrera de unisel y sin malla)	3.6 b	13.3b	31.2 b

- 1) Las plantas de frijol del tratamiento 1 y las de maíz del tratamiento 2 fueron inoculadas con el hongo *Glomus* sp Zac-3.
2) Las medias de cada columna que tienen la misma letra son estadísticamente iguales (P = 0.05).

En las plantas de maíz se observó que los mayores niveles de fósforo en raíces, tallos y hojas estuvieron asociados con la inoculación al inicio del experimento, pero sus promedios sólo fueron significativamente más altos que los obtenidos en las plantas sin micorriza y con la barrera interradsical a base de unisel (sin ventana). El resto de tratamientos no mostró diferencias significativas entre sí (Cuadro 10).

DISCUSION

La colonización de las plantas de maíz o de frijol por invasión de micelio micorrízico asociado inicialmente a una de las dos especies, muestra claramente que en

condiciones de campo se forman de manera natural puentes de micelio micorrízico entre sus sistemas radicales. En el presente trabajo, esta colonización indirecta permitió mejorar el crecimiento y contenido de nitrógeno y fósforo de las plantas aceptoras, hasta niveles cercanos a los alcanzados en las plantas inoculadas directamente. Estos resultados apoyan el planteamiento original de Read *et al.* (1976) respecto a que en comunidades naturales las plantas adultas, previamente micorrizadas, pueden facilitar la colonización de plantas jóvenes al sostener al hongo cuando éstas se hayan en estado de plántula.

Durante todo el experimento fue evidente que el intercambio de exudados radicales

Cuadro 10. Contenido de fósforo (mg) en maíz sembrado en asociación con frijol, con diferentes tipos de interacción radical.

Tratamiento ¹⁾	Raíz	Tallo	Hojas
1. Frijol donador, maíz aceptor (frijol inoculado + malla)	6.3ab	54.6ab	63.5ab
2. Maíz donador, frijol aceptor (Maíz inoculado + malla)	11.1a	74.4a	88.8a
3. Testigo I (Sin inóculo + malla)	9.1ab	64.1ab	70.6a
4. Testigo II (Sin inóculo, con barrera de unicel y sin malla)	5.6 b	46.2 b	45.1 b

1) Las plantas de frijol del tratamiento 1 y las de maíz del tratamiento 2 fueron inoculadas con el hongo *Glomus* sp Zac-3.

2) Las medias de cada columna que tienen la misma letra son estadísticamente iguales ($P = 0.05$).

estimuló la producción de biomasa en ambas especies ya que las plantas testigo que mantuvieron separadas sus raíces por la barrera de unicel sin ventana, mostraron un crecimiento menor que las cultivadas sin micorriza pero con la doble malla. A pesar de que las diferencias entre estos tratamientos generalmente no fueron significativas, en la mayoría de las variables se observó el mismo tipo de tendencia.

Se ha reportado que la composición de los exudados radicales varía con la especie de planta (Schwab *et al.*, 1984), por lo que es de esperarse que esta variación determine que la composición microbiana de la rizósfera del maíz sea distinta cualitativamente de la del frijol. Con la mezcla de los exudados procedentes de ambas especies posiblemente ocurrió un nuevo cambio en la población de microorganismos, cuya actividad afectó la disponibilidad del fósforo, el cual fue absorbido con mayor eficiencia por las plantas cultivadas en las parcelas con la doble malla donde los exudados pudieron difundirse con el movimiento del agua en el suelo y mezclarse.

El maíz sin micorriza mostró mayor contenido de nitrógeno en las parcelas con malla (donde fue posible la difusión de exudados) que en las cultivadas con la barrera de unicel sin ventana. Barea *et al.* (1989) reportaron incrementos similares en el contenido de fósforo y nitrógeno en *Lolium*

perenne sembrado sin micorriza en asociación con alfalfa, respecto a plantas sembradas en unicultivo.

El hongo endomicorrízico además de mejorar la absorción de fósforo y nitrógeno en el maíz y frijol, permitió una mayor interacción entre sus raíces. Conforme ésta fue más intensa, debido a la acción del micelio radical común, la producción de materia seca y los contenidos de nitrógeno y fósforo se incrementaron.

No obstante que las plantas de maíz tuvieron los niveles mas altos de colonización, mostraron efectos menos claros de la inoculación micorrízica o de la formación de puentes hifales que el frijol. Es evidente entonces que la producción de biomasa estuvo asociada en primer término con la disponibilidad de nitrógeno en el sistema. La disminución en el contenido de fósforo y la producción de biomasa observada en el maíz aceptor, respecto a las plantas no micorrizadas del testigo I, es similar a la reportada previamente por Bethlenfalvay *et al.* (1991) para la asociación maíz-soya; según estos investigadores el fenómeno puede ser interpretado como transporte de fósforo del maíz a la leguminosa a través de las hifas micorrízicas.

Se ha reportado que además de estimular la fijación de N_2 , debido al aumento en la absorción de fósforo (Barea y Azcón-Aguilar,

1983; Guzmán-Plazola y Ferrera-Cerrato, 1990), los hongos endomicorrizicos mejoran la absorción del nitrógeno presente en el suelo (Ames *et al.*, 1983; Barea *et al.*, 1987, 1989). Es posible que los efectos sobre el crecimiento del maíz sean debidos a la mayor absorción del fósforo y nitrógeno presentes en el suelo, pero conforme el frijol mejoró su capacidad para fijar nitrógeno atmosférico, debido al estímulo del hongo, probablemente se incrementó la transferencia de este elemento hacia el maíz mediante el micelio micorrizico, ya sea al reabsorberlo del suelo después de ser liberado de la leguminosa por exudación radical (Morgan *et al.*, 1973) o por la mineralización de nódulos senescentes (Ta y Faris, 1987a y 1987b) o bien mediante translocación directa de una planta a otra a través de los puentes hifales.

En trabajos previos se ha observado que los hongos endomicorrizicos intervienen en la transferencia de nitrógeno (Francis *et al.*, 1986; Van Kessel *et al.*, 1985), fósforo (Chiariello *et al.*, 1982; Francis *et al.*, 1986; Whittingham y Read, 1982) y carbono entre plantas (Grime *et al.*, 1987; Hirrel y Gerdemann, 1979), aunque existe cierta controversia respecto a si ocurre transferencia neta a través de los puentes hifales o si es más importante la acción del micelio extraradical una vez que ocurre liberación de compuestos por el sistema radical donador (Heap y Newman, 1980; Newman, 1988; Newman y Ritz, 1986). En nuestro trabajo, dado los incrementos en la expresión de las diversas variables evaluadas en los tratamientos sin micorriza y con malla (Testigo I), respecto a los observados en los testigos con la barrera de unicel sin ventana, podemos asumir que existe fuerte evidencia sobre la vía indirecta de translocación de nutrimentos a través del micelio micorrizico; es decir, con el sistema hifal asociado a ambas especies ocurrió una mayor asimilación de nitrógeno y fósforo por reabsorción de los compuestos exudados por las raíces, principalmente las pertenecientes a la leguminosa, que se mostró más responsiva a la inoculación. Sin embargo, nuestros resultados no descartan la vía directa de

transferencia a través de interconexiones hifales. No obstante, cualquiera que sea la vía principal de transferencia es evidente que la simbiosis juega un papel primordial en la producción de biomasa de maíz y frijol asociados, particularmente en condiciones donde no se aplican fertilizantes, como fue el caso del presente trabajo.

LITERATURA CITADA

- AOAC. 1980. Official methods of analysis of the Association of Official Analytical Chemists. 15th edition. Washington, D.C.
- AMES, R.N., C.P. REID, L.K. PORTER y C. CAMBARDELLA. 1983. Hyphal uptake and transport of nitrogen from two ^{15}N labelled sources by *Glomus mosseae*. New Phytologist 95: 381-396.
- BAREA, J.M. y C. AZCON-AGUILAR. 1983. Mycorrhizas and their significance in nodulating nitrogen-fixing plants. Advances in Agronomy 36: 1-54.
- BAREA, J.M., AZCON-AGUILAR y R. AZCON. 1987. Vesicular-arbuscular mycorrhiza improve both symbiotic N_2 fixation and N uptake from soil as assessed with a ^{15}N technique under field conditions. New Phytologist 106: 717-725.
- BAREA, J.M., F. EL-ATRACH y R. AZCON. 1989. Mycorrhiza and phosphate interactions as affecting plant development, N_2 -fixation, N-transfer and N-uptake from soil in legume-grass mixtures by using a ^{15}N dilution technique. Soil Biol. Biochem. 21: 581-589.
- BETHLENFALVAY, G.J., M.G. REYES-SOLIS, S.B. CAMEL y R. FERRERA-CERRATO. 1991. Nutrient transfer between the root zones of soybean and maize plants connected by a common mycorrhizal mycelium. Physiologia Plantarum 82: 423-432.

- BREMMER, J.M. 1975. Total nitrogen. *In: Methods of soil analysis. Part 2. Agronomy 9: 1149-1178. American Society of Agronomy. Madison, Wisconsin.*
- BROPHY, L.S., G.H. HEICHEL y M.P. RUSSELL. 1987. Nitrogen transfer from forage legumes to grass in a systematic planting design. *Crop Science 27: 753-758.*
- BURITY, H.A., T.C. TA, M.A. FARIS y B.E. COULMAN. 1989. Estimation of nitrogen fixation and transfer from alfalfa to associated grasses in mixed swards under field conditions. *Plant and Soil 114: 249-255.*
- CHIARIELLO, N., J.C. HICKMAN, y H.A. MOONEY. 1982. Endomycorrhizal role for interspecific transfer of phosphorus in a community of annual plants. *Science 217: 941-943.*
- FRANCIS, R., R.D. FINLAY, y D.J. READ. 1986. Vesicular-arbuscular mycorrhiza in natural vegetation systems. IV Transfer of nutrients in inter-and intra-specific combinations of host plants. *New Phytologist 102: 103-111.*
- GIOVANNETTI, M. y B. MOSSE. 1980. An evaluation of techniques for measuring vesicular-arbuscular mycorrhizal infection in roots. *New Phytologist 84: 489-500.*
- GRANADOS A., N. 1989. La rotación con leguminosas como alternativa para reducir el daño causado por fitopatógenos del suelo y elevar la productividad del agroecosistema maíz en el trópico húmedo. Tesis de Maestría en Ciencias. Colegio de Postgraduados. Montecillo, Texcoco, México.
- GRIME, J.P., J.M.L. MACKAY, S.H. HILLIER y D.J. READ. 1987. Floristic diversity on a model system using experimental microcosms. *Nature 328: 420-422.*
- GUZMAN-PLAZOLA, R.A. y R. FERRERA-CERRATO. 1990. La endomicorriza vesicular-arbuscular en las leguminosas. Colegio de Postgraduados. Montecillo, México. 121 p.
- HEAP, A.J. y E.I. NEWMAN. 1980. Links between roots by hyphae of vesicular-arbuscular mycorrhizas. *New Phytologist 85: 169-171.*
- HIRREL, M.C. y J.W. GERDEMANN. 1979. Enhanced carbon transfer between onions infected with a vesicular-arbuscular mycorrhizal fungus. *New Phytologist 83: 731-738.*
- JANOS, D.P. 1983. Tropical mycorrhizas, nutrient cycles and plant growth. *In: Sutton, S.L., Whitmore, T.C. y Chadwick, A.C. (Eds.) Tropical Rain Forest: Ecology and Management. pp. 327-345.*
- MORGAN, M.A., R.J. VOLK y W.A. JACKSON. 1973. Simultaneous influx and efflux of nitrate during uptake by perennial ryegrass. *Plant Physiology 51: 267-272.*
- NEWMAN, E.I. 1988. Mycorrhizal links between plants: their functioning and ecological significance. *Advances in Ecological Research 18: 243-270.*
- NEWMAN, E.I. y K. RITZ. 1986. Evidence on the pathways of phosphorus transfer between vesicular-arbuscular mycorrhizal plants. *New Phytologist 104: 77-87.*
- PHILLIPS, J.B. y D.S. HAYMAN. 1970. Improved procedures for clearing roots and staining parasitic and vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi for rapid assessment of infection. *Transactions of the British Mycological Society 55: 158-160.*
- READ, D.J., H.K. KOUCHEKI y J. HODGSON. 1976. Vesicular-arbuscular mycorrhiza in natural vegetation systems. I. The occurrence of infection. *New Phytologist 77: 641-653.*
- RITZ, K. y E.I. NEWMAN. 1984. Movement of ^{32}P between intact grassland plants of the same age. *Oikos 43: 138-142.*

SCHWAB, S., R.T. LEONARD y J.A. MENGE. 1984. Quantitative and qualitative comparison of root exudates of mycorrhizal and nonmycorrhizal plant species. *Canadian Journal of Botany* 62: 1227-1231.

TA, T.C. y M.A. FARIS. 1987a. Species variations in the fixation and transfer of nitrogen from legumes to associated grasses. *Plant and Soil* 98: 265-274.

TA, T.C. y M.A. FARIS. 1987b. Effects of alfalfa proportion and clipping frequencies on timothy-alfalfa mixtures. II. Nitrogen fixation and transfer. *Agronomy Journal* 79: 820-824.

TA, T.C.; F.D.H. MACDONALD y M.A. FARIS. 1986. Excretion of assimilated nitrogen from N_2 fixed by nodulated roots of alfalfa (*Medicago sativa* L.). *Canadian Journal of Botany* 64: 2063-2067.

VAN KESSEL, C., P.W. SINGLETON y H.J. HOBEN. 1985. Enhanced N transfer from a soybean to maize by vesicular-arbuscular mycorrhizal (VAM) fungi. *Plant Physiology* 79: 562-563.

WHITTINGHAM, J. y D.J. READ. 1982. Vesicular-arbuscular mycorrhiza in natural vegetation systems. III. Nutrient transfer between plants with mycorrhizal interconnections. *New Phytologist* 90: 277-284.

**RELACION ENTRE LA EDOFAUNA Y EL SISTEMA DE REFORESTACION
EN LA ZONA TEPETATOSA "MARIO AVILA", CHAPINGO, MEXICO**

Relationships between edofauna and the patterns of reclamation
in tepetate zone "Mario Avila", Chapingo, Mexico

R.E. García-Pérez, F. Rodríguez N., y E. Brígida B.[†]

Depto. de Suelos, Universidad Autónoma Chapingo,
56230 Chapingo, México

Depto. de Preparatoria Agrícola, Universidad Autónoma Chapingo²⁾
56230 Chapingo, México

Palabras clave: Edofauna, Índice de diversidad, Recuperación de suelos, Profundidad y humedad del suelo, Calidad de mantillo, Topografía.

Index words: Edofauna, Diversity index, Reclamation of soils, Deep and moisture soil, Quality litter, Topography.

RESUMEN

Se hizo un análisis sobre la edofauna establecida bajo diferentes condiciones de recuperación de una zona erosionada en Chapingo, Edo. de México. Las fechas de muestreo se establecieron con base en la temporada de lluvias.

La presencia de la edofauna se reportó en términos de índice de diversidad, encontrando que el factor determinante en su abundancia parece ser la humedad del suelo, pero también influye la topografía del terreno, la calidad del mantillo, la profundidad del suelo, las labores culturales y los hábitos de las poblaciones.

Recibido 6-91.

SUMMARY

An analysis was made on the relationship between edofauna and different patterns of reclamation on an eroded land, in Chapingo, Mexico. The rain season determined the collection of samples.

The edofauna was reported as diversity index value and it suggested that the determinant factor was soil moisture, but there were others, such as topography, quality litter, soil depth, agricultural techniques and the populations behavior.

INTRODUCCION

Existen diferentes opciones para la recuperación de áreas erosionadas. Entre ellas está la introducción de especies vegetales que posean características morfológicas y fisiológicas que les permita tolerar las condiciones adversas del medio, y que puedan establecer con el sistema suelo una relación capaz de incrementar su fertilidad (Ruiz, 1987).

Además de retener el suelo con sus raíces y protegerlo de la lluvia, las plantas introducidas son una fuente potencial de materia orgánica como resultado de la caída de sus hojas, ramas, etc. que van a integrar parte importante del material conocido como mantillo. A esto se le suma el sistema radical que continuamente se está incorporando al suelo.

Para que el mantillo contribuya a la fertilidad del suelo debe de ser degradado y transformado en material disponible para las plantas. Para que esta transformación se lleve a cabo, se requiere de la participación de una gran cantidad de organismos conocidos como edoflora y edofauna, cuya acción resulta en un aporte de materia orgánica, aceleración del ciclo de nutrimentos, fijación de nitrógeno, etc. (Burges y Raw, 1971; Kuhnelt, 1976).

En consecuencia, es necesario entender la dinámica que presentan los organismos del suelo para intentar un manejo y mejoramiento de estos procesos.

En este trabajo se analizó el efecto que sobre la edofauna tienen las diferentes especies vegetales empleadas en la reforestación, así como las condiciones del suelo que se presentan en la estación experimental "Mario Avila" de la UACH, en Texcoco, Edo. de México.

MATERIALES Y METODOS

Se trabajó en la estación experimental de la Universidad Autónoma Chapingo "Mario Avila" comprendida entre los 19°27'58" y 19°28'27" latitud norte y 98°51'14" y 98°51'45" de longitud oeste, con una altura promedio de 2320 msnm. Es una zona de lomerío correspondiente al área transicional entre las partes plana y montañosa de la cuenca de México (Ortiz-Solorio y Cuanalo, 1977). Según Cachón *et al.* (1976), los suelos se incluyen dentro de la serie Coatlinchán arena migajosa somera, con un estrato superficial que varía de 10 a 30 cm de espesor y por debajo con una

capa de estrato cementado conocido como tepetate. La zona tiene un clima C(W)₀(W)b(i)g, que corresponde a un templado subhúmedo, el más seco de los subhúmedos, con régimen de lluvia en verano, con temperatura media máxima de 17.9°C y media mínima de 11.5°C, con una máxima de 45°C en abril y una mínima de -13°C en enero (Reyes, 1972). La temporada de lluvia inicia a fines de mayo y termina a principios de septiembre. El resto del año solo hay lluvias esporádicas con la precipitación media anual de 660 mm.

Es probable que los suelos de esta estación experimental hayan estado sujetos a una intensa actividad agrícola desde antes de la conquista, posteriormente fueron abandonados y sometidos a un pastoreo excesivo provocando su desertificación. A partir de 1960, se suspende cualquier tipo de actividad agrícola o pecuaria y se inicia su reforestación predominando *Pinus* sp, *Eucalyptus* sp y *Schinus*, sobreviviendo en la actualidad sólo las especies de los dos primeros géneros acompañados de una gran cantidad de herbáceas y zacates dentro de la zona.

Con base en la topografía y tipo de especies empleadas para reforestación, se establecieron ocho diferentes zonas de trabajo de aproximadamente una hectárea de superficie con las siguientes características promedio:

Zona A. Ubicada al límite SW de la estación, en la cima, reforestada con *Eucalyptus* sp de aproximadamente 5 años y presencia de zacates en el sotobosque.

Zona B. En el límite SE de la estación, con pendiente pronunciada al E limitada por un arroyo seco en estiaje, reforestada con *Eucalyptus* sp de aproximadamente 10 años, con arbustos bajos.

Zona C. En la parte media sur, sin pendiente aparente, reforestada con *Eucalyptus* sp de aproximadamente 5 años, con una ligera capa de mantillo y abundancia de zacates y arbustos.

Zona D. Ubicada en el lado E de la zona C, sin pendiente, reforestada con *Pinus* sp de 10 años, presencia abundante de mantillo derivado de los árboles.

Zona E. Ubicada en la parte baja de la estación, sin pendiente aparente, reforestación deficiente con *Pinus* sp, con dominancia de zacates y tepetate blanco aflorado.

Zona F. Con reforestación deficiente de *Eucalyptus* sp, sin pendiente, con escaso mantillo y grandes áreas de tepetate gris aflorado.

Zona G. Ubicada en la parte baja, reforestado recientemente con *pinus* sp, con poco mantillo y grandes áreas con afloramiento de tepetate blanco.

Zona H. Ubicada en la parte baja, donde se realizaron inicialmente los trabajos de reforestación de la estación con un suelo de más de 1 m de profundidad en algunas zonas, actualmente está sometida a cultivos anuales y en algunas zonas con nopales introducidos.

Toma de Muestras.

La humedad parece ser uno de los principales factores que determinan el

comportamiento de las poblaciones (Cepeda y Whitford, 1989), por lo que la toma de muestras se estableció al inicio, mitad, final de temporada de lluvias y a mitad del estiaje.

Para cada zona se eligieron al azar tres sitios diferentes de muestreo en cada estación de lluvia. Se colectó el mantillo comprendido en 1 m², después se colectó todo el suelo en una superficie de 30 cm² hasta la presencia del tepetate.

Se integró una muestra compuesta de los tres sitios en cada estación y se analizó bajo el microscopio estereoscópico la presencia de micro y macrofauna. Para su interpretación se empleó el valor de índice de diversidad que no requiere una detallada identificación taxonómica (Lloyd et al., 1968). Al suelo se le efectuó análisis fisicoquímico en el laboratorio de suelos de la UACH (Cuadro 1).

RESULTADOS

En las Figuras 1, 2 y 3 se presentan los resultados de la muestra compuesta para cada zona en las tres primeras temporadas de muestreo.

En el cuarto muestreo, que corresponde al estiaje, posiblemente por la escasez de agua registrada como % de humedad, no se encontraron organismos; por lo que no se calculó el índice de diversidad.

Cuadro 1. Resultado de análisis de laboratorio (tomados al final de temporada de lluvias).

Zona	pH H ₂ O	CE ds/m	% MO	% NT	P ppm	% Hum. a C.C. 0.3 atm	% Hum. a P.M.P. 15 atm
A	7.2	0.6	3.1	0.14	1	17.61	9.00
B	5.3	2.5	7.1	0.40	16	21.26	11.90
C	6.3	0.3	4.8	0.16	6	19.87	9.83
D	6.0	0.2	2.4	0.12	3	17.59	7.14
E	6.2	0.2	1.2	0.08	*	12.50	6.32
F	8.1	0.3	1.8	0.09	2	33.10	19.15
G	6.2	0.4	2.3	0.12	4	12.79	5.83
H	6.1	0.1	2.3	0.14	20	1 4.04	7.24

*No detectado por el método empleado

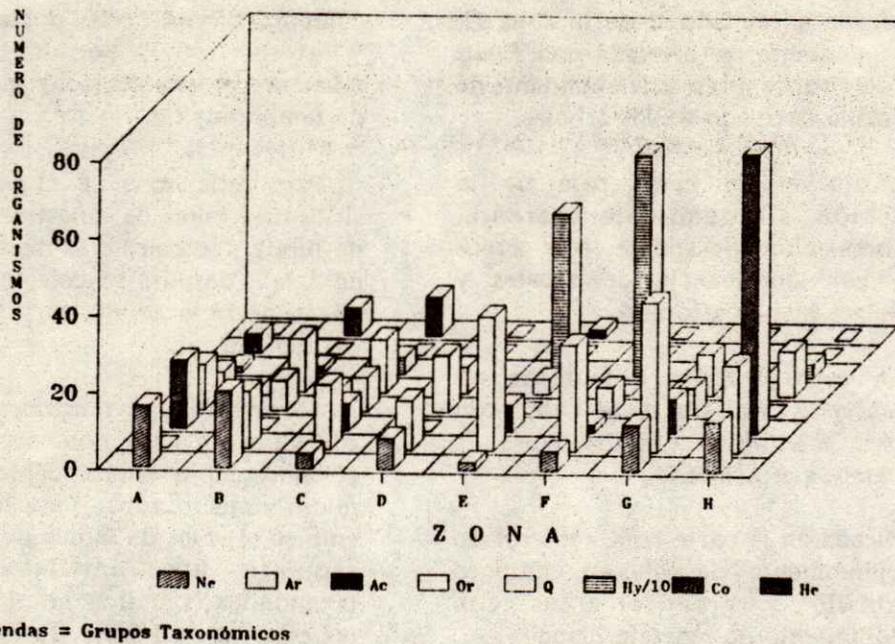


Figura 1. Número de organismos al primer muestreo (inicio de temporada lluvias) 25-VI-87.

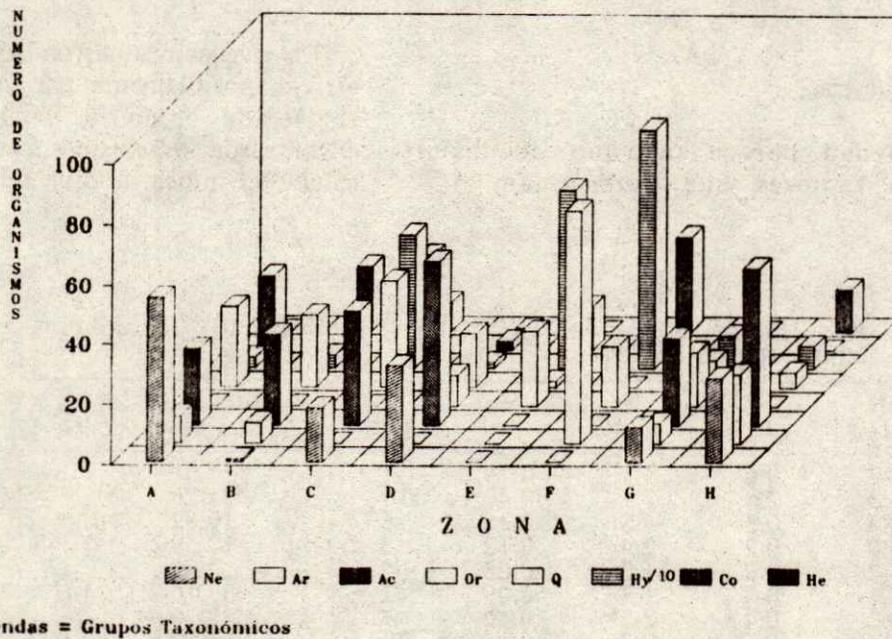


Figura 2. Número de organismos al segundo muestreo (mitad temporada lluvias) 20-VIII-87.

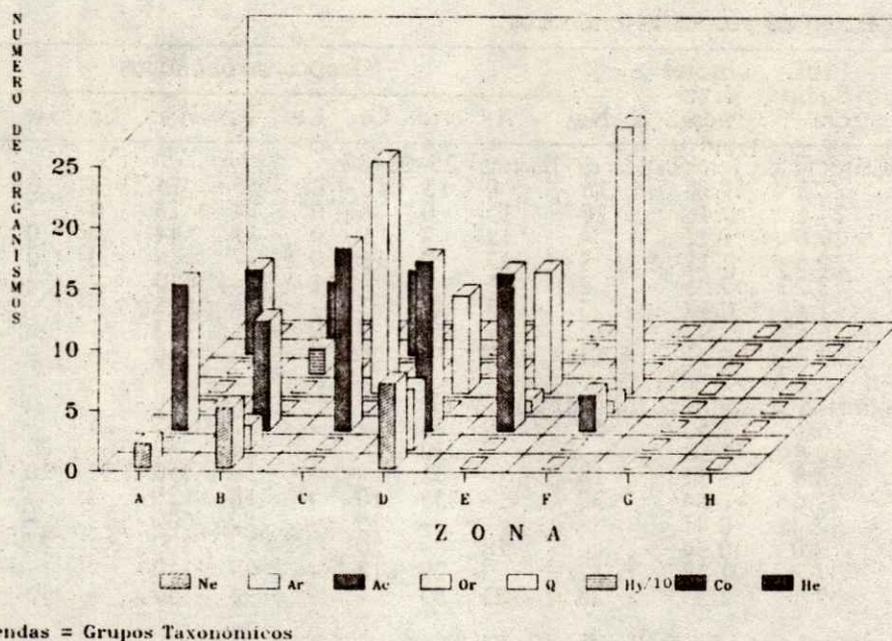


Figura 3. Número de organismos al tercer muestreo (final temporada lluvias) 12-XI-87.

Los datos obtenidos en las cuatro temporadas se muestran en el Cuadro 2, los resultados de análisis fisicoquímicos se presentan en el Cuadro 1.

DISCUSION

El índice de diversidad es una expresión para medir el grado de perturbación de un medio. Si se tiene un amplio número de especies sin muchos individuos de las especies dominantes, el índice de diversidad es alto, e indica que el medio tiene un estado favorable para ofrecer diferentes habitats. Si su valor es bajo, el medio presenta condiciones adversas para algunas especies pero muy favorables para otras, teniéndose pocas especies pero un gran número de individuos (Margalef, 1980).

La humedad parece ser el principal factor que interviene en los procesos bióticos del suelo (Cepeda y Whitford, 1989). En este trabajo, además de este factor se reportan otros que también pueden influir en el índice

de diversidad, como son la profundidad, el tipo de vegetación y el manejo del suelo. En todas las zonas muestreadas, a excepción de las E y F, en el muestreo se tuvo un alto índice de diversidad en relación al cuarto muestreo que corresponde al estiaje. Sin embargo, al avanzar la temporada de lluvias, y en consecuencia al aumentar el contenido de humedad en el suelo, se presenta un incremento paralelo en los índices de diversidad sólo en las zonas D, G, H y E.

Esta diferencia de valores puede ser explicada con base en el tipo de vegetación en cada zona. Las reforestadas con *Pinus* sp (D, G y E) presentan una acumulación de mantillo en forma de troncos y acículas que favorecen una diversidad en la formación de habitats para una mayor cantidad de individuos.

Las zonas de *Eucalyptus* sp (A, B y C) claramente producen una menor cantidad de mantillo, además de que sus hojas presentan cierta resistencia a la actividad biológica (Aceves, 1987; Pearce, 1989). Esto restringe su utilización por la fauna e incluso provocan su disminución.

Cuadro 2. Muestreo de grupos taxonómicos.

Zona	% Hum.	Prof. Suelo cm	Indice diversidad	Grupos taxonómicos										
				Ne	Ar	Ac	Or	Le	Q	Hy	Co	He	ISO	Ane
1er. muestreo (inicio de temporada de lluvias) 25-06-87														
A	4.5	27.3	1.96	16	0	18	12	2	5	15	5	0	-	-
B	11.3	24.6	2.46	20	15	0	8	0	14	18	0	7	-	-
C	13.1	20.6	1.72	4	17	7	9	0	14	44	0	1	0	-
D	8.5	20.6	2.21	8	13	0	15	0	7	4	0	0	-	-
E	11.8	3.20	0.85	2	35	7	-	1	4	420	-	2	29	-
F	16.6	1.45	0.52	5	28	2	7	-	-	575	-	-	10	-
G	7.8	16.6	1.97	12	39	9	7	0	11	3	-	-	10	-
H	4.9	18.3	1.91	13	23	73	-	4	12	36	-	-	137	-
2o. muestreo (mitad temporada lluvias) 20-08-87														
A	16.4	16	1.50	55	9	25	-	-	27	35	25	-	-	10
B	17.3	16.6	1.58	1	7	30	-	-	24	43	-	22	-	18
C	14.6	18.8	1.31	18	-	38	-	-	36	450	32	10	-	-
D	11.0	21.6	2.14	32	-	55	10	-	18	20	3	1	-	8
E	12.3	2.46	0.41	-	-	-	25	-	2	600	15	-	-	-
F	15.9	3.0	0.64	-	78	-	20	-	-	800	-	32	-	-
G	5.6	34	1.28	12	7	29	18	-	9	112	-	-	17	-
H	7.6	39	1.33	28	23	53	-	-	5	77	-	15	12	-
3er. muestreo (final temporada lluvia) 12-11-87														
A	10	20.6	2.24	2	-	12	-	-	-	-	7	-	-	-
B	18.3	15.5	1.97	5	2	9	-	-	-	2	6	-	-	-
C	4.8	18.6	1.66	-	-	15	-	-	19	-	7	-	-	8
D	1.5	12	1.7	7	5	14	-	-	8	-	-	-	-	-
E	0.5	2.1	1.12	-	-	13	1	-	10	-	-	-	-	-
F	1.1	2.0	1.37	-	-	3	1	-	22	-	-	-	1	-
G	3.6	23	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
H	6.0	25	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4to. muestreo (estiaje) 6-02-88														
A	2.9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
B	0.06	-	-	-	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-
C	3.2	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-
D	6.5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
E	1.5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
F	1.8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
G	3.4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
H	2.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Clave: Ne = Nemátodos, Ar = Arácnidos, Ac = Acaros, Or = Ortópteros, Le = Lepidópteros, Q = Quilópodos, Hy = Hymenópteros, Co = Coleópteros, He = Hemipteros, ISO = Isópodos, Ane = Anélidos.

En el último muestreo, la humedad del suelo disminuye drásticamente provocando una caída en el número de individuos siendo imposible determinar su densidad. Este puede deberse a que los individuos emigran hacia otros sitios o cambian a formas más adecuadas que les permiten tolerar la sequía (Borges y Raw, 1971; Kuhnelt, 1976).

En las zonas reforestadas con *Pinus sp*, el valor del índice de diversidad disminuye para la zona G, en relación al avance de la temporada de lluvias. Pero se mantiene alto en la zona D lo que puede ser debido a que en ésta los *Pinus sp* son de mayor edad que en la G, desarrollando un mayor número de madrigueras, así como un mayor tiempo de descomposi-

ción originando consecuentemente un suelo más desarrollado que en la zona G. En el estiaje, al igual que en la zona de *Eucalyptus* sp, se presentó una caída drástica de las poblaciones, también debida a la muerte, emigración de los individuos o cambio a formas tolerantes como huevecillos o pupas.

En la zona H, el índice de diversidad se mantuvo bajo a pesar de ser una zona con humedad y buena profundidad y más tiempo en recuperación. Esto puede deberse a que en esta zona se realizan periódicamente labores culturales que destruyen las madrigueras de los organismos, provocando drástica disminución en sus poblaciones (Madge, 1981).

Las zonas E y F tienen un bajo índice de diversidad en los 2 primeros muestreos, aun cuando hay buena condición de humedad, lo que podría ser debido a la poca cantidad de suelo presente y en ocasiones con afloramiento de tepetate. Sin embargo, en el tercer muestreo, aún con disminución de humedad, el índice de diversidad aumenta. Esto sugiere que este es el sitio hacia donde emigran individuos de otras zonas cercanas en donde se observa una disminución de índice, como en las zonas G y D. En el cuarto muestreo, al igual que en todos los casos, se presenta una disminución de la fauna, también causada por la escasez de agua o por el carácter nómada de las poblaciones (Burges y Raw, 1971; Kuhnelt, 1976).

La cantidad de materia orgánica en relación a las otras zonas fue menor en las E y F, lo que indica una poca retención de suelo y un sustrato no favorable para la flora y la fauna como lo refleja el bajo índice de diversidad, y apoya la idea de que la elevación de estos valores en los últimos muestreos puede ser atribuida a la emigración de la fauna y sólo sea temporal según las características migratorias de ortópteros e himenópteros encontrados en estas áreas.

La zona B presentó un alto contenido de materia orgánica, probablemente debido a que el sitio de muestreo establecido al azar se ubicó en la parte baja de la pendiente. Esto

favorece la acumulación no sólo de materia orgánica sino también del contenido de nitrógeno total, así como un valor de pH bajo en relación a las otras zonas de trabajo, excepto la A y la F.

CONCLUSIONES

En el área reforestada "Mario Avila", Chapingo, México, la cantidad de humedad en el suelo es un factor determinante pero no exclusivo en la edofauna presente. Esta es influida también por la topografía, el tipo de mantillo que se va a originar de la vegetación presente, la profundidad del suelo, las actividades culturales y probablemente las características migratorias de las poblaciones.

LITERATURA CITADA

- ACEVES, R.V. 1987. "Efectos alelopáticos de *Eucalyptos camaldulensis* Dehuh, *Pinus moctezumae* Lamb., *Schinus molle* L. y esquilmos de maíz (*Zea mays*) sobre frijol, maíz, trigo, cebada, avena y *Eysenhardtia polistachia*. Fitotecnia, UACH. México. Tesis.
- ALEXANDER, M. 1980. Introducción a la microbiología del suelo. AGT. Ed. S.A. México.
- BURGES, A. y F. RAW. 1971. Biología del suelo. Ed. Omega. Barcelona, España.
- CACHON, A., L.E. NERY y H.E. CUANALO DE LA CERDA. 1976. Los suelos del área de influencia Chapingo. Rama de Suelos C.P. ENA. Chapingo, México.
- CEPEDA, J.G. y W.G. WHITFORD. 1989. The relationships between abiotic factors and the abundance patterns of soil microarthropods on a desert watershed. Pedobiol. 33: 79-86.
- KUHNELT, W. 1976. Soil Biology. Michigan ST. University Press.

LLOYD, M., H. ZAR J. y R. KARR J. 1968. On the calculation of information theoretical measures of diversity. *Am. Med. Nat.* 79(2): 257-272.

MADGE, D.S. 1981. In *biological husbandry. A scientific approach to organic farming.* Ed. B. Stonehouse. Butterworths. London.

MARGALEF, R. 1980. *Ecología.* 3a. reimpresión. Ed. Omega. Barcelona, España.

ORTIZ-SOLORIO, C.A. y H.E. CUANALO DE LA CERDA. 1977. Levantamiento fisiográfico del área de influencia Chapingo, C.P., ENA., Chapingo, México.

PIEARCE, T.G. 1989. Acceptability of pteridophyte litters to *Lumbricus terrestris* and *Oniscus asellus*, and implications for the nature of ancient soils. *Pedobiol.* 33: 91-100.

REYES, R.J. J.A. 1972. Evaluación de algunas propiedades del suelo bajo plantación forestal con diferentes especies y espaciamientos. Depto. de Bosques. ENA. Chapingo, México. Tesis Profesional.

RUIZ F., J.F. Ed. 1987. *Uso y manejo de los tepetates para el desarrollo rural.* UACH. Chapingo, México.

LA ECUACION UNIVERSAL DE PERDIDAS DE SUELO EN LA CUENCA DEL RIO TEXCOCO

The Universal Soil Loss Equation
in the Texcoco Watershed

Héctor Manuel Arias Rojo y Benjamín Figueroa Sandoval

Centro de Edafología, Colegio de Postgraduados,
56230 Montecillo, Méx.

Palabras clave: Ecuación universal de pérdidas de suelo, Erosión, Cuenca del río Texcoco, Modelos matemáticos de predicción, Tepetates.

Index words: Universal soil loss equation, Erosion, Texcoco watershed, Mathematical models, Tepetates.

RESUMEN

Con la finalidad de validar la Ecuación Universal de Pérdidas de Suelo (EUPS) se estableció un proyecto de investigación en la Cuenca del Río Texcoco, cuenca representativa del centro de México en cuanto a los usos del suelo y su manejo. Después de 8 años se evaluaron los resultados comprobándose que las zonas agrícolas son las más susceptibles a la erosión, seguidas por "tepetates", horizontes endurecidos que subyacen a suelos de origen volcánico en el centro de México. Asimismo, se encontró que la EUPS sobrepredice en aproximadamente 10 veces las pérdidas de suelo observadas en lotes de escurrimiento de 25x2 m, además de mostrar error aunque existe una correlación significativa.

Recibido 9-91.

SUMMARY

A research project was established in the Texcoco watershed, a representative watershed of Central Mexico in relation to land use and management, with the objective of the validation of the Universal Soil Loss Equation (USLE). After 8 years, results showed that the agricultural lands were more susceptible to erosion, followed by "tepetates", hardened layers that underlain volcanic soils of Central Mexico. Although the USLE showed a significant correlation with soil losses, it overpredicted ten times, in the average, soil losses measured in 25x2 m runoff plots.

INTRODUCCION

La Ecuación Universal de Pérdidas de Suelo (EUPS) es un modelo de caja gris que entre sus objetivos está el de predecir promedios de pérdidas de suelo anual debidas a erosión laminar y en canalillos, con la finalidad de seleccionar prácticas de manejo que permitan controlar el proceso erosivo (Wischmeier, 1976). Es un modelo de caja gris, porque aunque incluye la fenomenología del proceso erosivo, fue obtenida en forma empírica; esto es, sin la aplicación de los principios fundamentales de la física.

La EUPS puede definirse como:

$$A = R K L S C P$$

donde A es la pérdida de suelo anual promedio (ton ha^{-1}), R es el factor erosividad de la lluvia (unidades de índice de erosividad, UIE), K es el factor erosionabilidad del suelo (ton/ha/UIE), L es el factor de ajuste por longitud del terreno, en comparación con una longitud estándar de 22.2 m (adimensional), S es el factor de ajuste por la inclinación del terreno al compararse con una pendiente de 9% (adimensional), C es el factor por uso y manejo del suelo al compararse con un terreno sin vegetación (adimensional), y P es el factor práctica mecánica de control de la erosión al compararse con un terreno continuamente barbechado en el sentido de la pendiente (adimensional).

Dado el nivel de erosión en México, se inició una investigación para validar la metodología "universal" en México. Con estos antecedentes, el objetivo del trabajo es 1) presentar los resultados de ocho años de

investigación, y 2) evaluar el efecto predictivo de la ecuación universal de pérdidas de suelo en varios usos del suelo de una cuenca típica del centro de México.

MATERIALES Y METODOS

La cuenca del Río Texcoco se encuentra en la parte oriente de la Cuenca de México, con un área de drenaje de 35 km^2 , con ocho usos del suelo: bosque de pino, bosque de encino, bosque de oyamel, zacatonal de altura, pastizal, zona agrícola alta, zona agrícola baja y tepetatales. Es conveniente mencionar que las zonas de cultivo son de secano (temporal) y estaban sembradas con maíz.

Para llevar a cabo este trabajo se instalaron dos lotes de escurrimiento en cada uno de los usos del suelo antes mencionados (Figuroa, 1975); en el Cuadro 1 se presenta un resumen de las características principales de cada uno de los lotes.

Cuadro 1. Características de los lotes de escurrimiento (Figuroa, 1975).

Uso del suelo	rep.	Textura			MO	Pendiente
		Arena	Limo	Arcilla		
		(%)				
Bosque de pino	1	34	59	7	12.1	19
	2	36	59	5	10.0	19
Bosque de oyamel	1	41	51	8	13.1	16
	2	69	28	3	4.1	20
Zacatonal	1	22	75	3	17.5	37
	2	32	55	13	14.8	45
Zona Agrícola alta	1	38	52	10	4.5	2
	2	60	37	3	3.4	3
Tepetatal	1	31	59	10	0.4	12
	2	30	57	13	0.1	11
Pastizal	1	29	66	5	1.4	24
	2	56	39	5	0.6	15
Bosque de encino	1	40	38	22	10.4	33
	2	56	39	5	4.6	27
Zona Agrícola baja	1	48	47	5	0.1	2
	2	70	22	8	0.2	2

Los lotes de escurrimiento de 25x2 m estaban delimitados por láminas de asbesto de 0.30 m de ancho enterradas de 0.1 a 0.15 m en el suelo con la finalidad de captar el escurrimiento y el material transportado en el escurrimiento. El volumen escurrido se captó en tinacos de asbesto de 300 a 2200 l de capacidad, dependiendo del potencial de escurrimiento de los sitios. Después de eventos lluviosos se tomaron muestras de agua de escurrimiento, las cuales fueron analizadas y se determinó la cantidad de sedimentos transportados. Los eventos lluviosos fueron analizados a partir de pluviógrafos de registro diario.

La estimación de los parámetros de la EUPS fue obtenida de análisis de suelos (Cuadro 1), pendiente y longitud del terreno, uso del suelo y cobertura (aérea y en la superficie), y datos obtenidos de los pluviógrafos para calcular la erosividad anual (unidades de índice de erosividad), de acuerdo a la metodología propuesta por Wischmeier y Smith (1978). En el Cuadro 2 se presentan los valores de los parámetros K, LS, C y su producto,

calculados en unidades del SI utilizando las modificaciones propuestas por Foster *et al.*, (1981).

RESULTADOS Y DISCUSION

Los datos anuales de pérdida de suelo de ocho años son promediados por uso del suelo y se muestran en el Cuadro 3, en el cual se puede observar, además de la gran variación en los datos (mínimos a máximos), que las mayores pérdidas de suelo fueron observadas en los tepetatales, seguidas por las dos zonas agrícolas, después el pastizal, el bosque de pino, el zacatonal y los bosques de encino y oyamel, respectivamente. Sin embargo, dado que las condiciones fisiográficas eran muy diferentes (la pendiente fue muy variable como se aprecia en el Cuadro 1), se hicieron ajustes por pendiente tomando en cuenta los factores LS de la EUPS, con la finalidad de estandarizar la información, encontrándose cambios en el orden de valores de pérdida de suelo, siendo mayores en la zona agrícola baja que en los tepetates, los demás siguieron el mismo orden.

Cuadro 2. Valores de los parámetros K, LS, y C para los lotes de escurrimiento (P=1.0, dado que no hay prácticas mecánicas).

Uso del suelo	Repetición	K	LS	C	KLSC
Bosque de pino	1	0.0491	3.483	0.0003	0.0001
	2	0.0501	3.483	0.0002	0.00003
Bosque de oyamel	1	0.0309	2.612	0.002	0.0002
	2	0.0148	3.800	0.003	0.0002
Zacatonal	1	0.0594	11.322	0.00002	0.00001
	2	0.0442	16.245	0.00003	0.00002
Z. Agrícola alta	1	0.0338	0.191	0.560	0.0036
	2	0.0278	0.273	0.560	0.0043
Tepetatal	1	0.0718	1.644	0.470	0.0555
	2	0.0703	1.437	0.460	0.0465
Pastizal	1	0.0711	5.211	0.024	0.0089
	2	0.0455	2.349	0.026	0.0028
Bosque de encino	1	0.0252	9.193	0.0001	0.00002
	2	0.0345	6.414	0.0001	0.00002
Z. Agrícola baja	1	0.0628	0.191	0.710	0.0085
	2	0.0289	0.191	0.710	0.0039

Cuadro 3. Promedio de ocho años de la pérdida de suelo anual para los ocho usos del suelo de la cuenca del Río Texcoco.

Uso del suelo	Promedio	Mín	Máx.	Ajustadas
	- - - - - (kg ha ⁻¹ año ⁻¹) - - - - -			
Bosque de pino	34.3	2.0	144.9	9.9
Zacatonal	24.6	0.8	159.3	8.2
Bosque de oyamel	3.9	0.0	6.3	0.3
Z. agrícola Alta	1657.5	220.3	7344.8	5156.1
Tepetatal	9376.1	2682.9	19344.2	6134.3
Pastizal	277.2	47.4	798.2	93.7
Bosque de encino	5.3	0.0	25.1	0.8
Z. agrícola Baja	2643.2	382.1	7392.5	13838.7

En relación a la validación de la EUPS, se hicieron cálculos con base en los datos de erosividad media anual y los valores de los factores de la EUPS, y comparándose con los valores observados encontrándose la siguiente ecuación de regresión:

$$Y = 4647.33 + 9.14 X \quad r^2 = 0.61$$

donde Y es el valor predicho por la EUPS (kg ha⁻¹), y X es el valor observado en los lotes de escurrimiento (kg ha⁻¹).

Para que el modelo hubiera sido adecuado, los parámetros debían haber tenido los valores de 0 para la intercepción en el origen, y 1.0 en la pendiente de la línea. Sin embargo se observan sobrepredicciones en ambos, especialmente en la pendiente. Aunque el coeficiente de determinación es altamente significativo, el modelo no es muy adecuado.

De lo anterior se puede observar que: 1) aunque la EUPS muestra una correlación altamente significativa, los parámetros no son los esperados, 2) la EUPS sobrepredice por aproximadamente 10 veces los valores medidos, lo cual se traduce en la necesidad de ajuste del modelo, o la búsqueda de un modelo mejor.

CONCLUSIONES

Se puede concluir de este trabajo que las zonas agrícolas son las más susceptibles a la erosión laminar y en canalillos, siguiendo las zonas con tepetate, que son horizontes endurecidos expuestos por el proceso de lavado de los suelos derivados de cenizas volcánicas, por lo que se recomienda la necesidad de establecer programas de control de la erosión en suelos derivados de cenizas volcánicas, dada la susceptibilidad a la erosión de los horizontes subyacentes.

Por otro lado, se puede concluir que la EUPS sobrepredice por aproximadamente 10 veces las pérdidas de suelo en los usos del suelo. Asimismo, debido a la alta variabilidad en la predicción, se recomienda o mejorar la estimación de los parámetros para esas condiciones o utilizar un modelo más adecuado, que sea más "universal", utilizando principios físicos fundamentales.

LITERATURA CITADA

FIGUEROA SANDOVAL, B. 1975. Pérdidas de suelo y nutrientes y su relación con el uso del suelo en la cuenca del Río Texcoco. Tesis M.C. Rama de Suelos. Colegio de Postgraduados. Chapingo, Méx.

FOSTER, G.R., D.K. McKOOL, K.G. RENARD, y W.C. MOLDENHAUER. 1981. Conversion of the Universal Soil Loss Equation to SI metric units. TRANS ASAE 355-360.

WISCHMEIER, W.H. 1976. Use and abuse of the universal soil loss equation. J SOIL AND WATER CONSERV 31(1):5-9.

WISCHMEIER, W. H. and D. D. SMITH. 1978. Predicting rainfall erosion losses. A guide to conservation planning. Agriculture handbook no. 537. Washington, D.C.

RESPUESTA DEL MAIZ AL ENCALADO DE SUELOS DEL VALLE DE ATLACOMULCO, MEXICO

Response of Corn to Liming on Atlacomulco Valley Soils, Mexico

Jorge Alvarado López y Lenom J. Cajuste

Centro de Edafología, Colegio de Postgraduados
56230 Montecillo, México

Palabras clave: Disponibilidad de P, P extractable, pH.

Index words: P availability, Extractable P, pH.

RESUMEN

La acidez que presentan algunos suelos en el Valle de Atlacomulco, México, es la principal limitante edáfica para obtener mejores rendimientos de los cultivos. Ante esta situación, el objetivo de este trabajo fue estudiar el efecto del encalado y la fertilización fosfatada en el rendimiento de maíz y la disponibilidad de fósforo, en suelos de Atlacomulco.

Se trabajó con cinco suelos, se evaluaron tres dosis de encalado (0 y las cantidades necesarias para elevar el pH del suelo a 5.5 y 6.5) y dos niveles de P(0 y 50 ppm), con tres repeticiones. Se utilizó un diseño experimental completamente al azar.

En invernadero se estableció un experimento con maíz, el cual se cosechó a los 45 días

después de la siembra, y se determinó rendimiento de materia seca y P absorbido por la planta. En el suelo se evaluó pH y P extractable.

Se realizó el análisis de varianza de las variables estudiadas y, en algunos casos, prueba de contrastes entre tratamientos.

La aplicación de fósforo incrementó el rendimiento de materia seca del maíz y la absorción de este nutrimento por la planta en todos los suelos, sin embargo, la respuesta al encalado fue variable en éstos. En suelos con bajo contenido de aluminio intercambiable el encalado no tuvo efecto significativo, o bien tendió a reducir el rendimiento y la disponibilidad de P, mientras que estas variables se incrementaron en suelos con alto contenido de aluminio y bajo nivel de calcio intercambiable.

SUMMARY

The acidity found in some soils of the Atlacomulco Valley, Mexico, is the main edaphic limitation to obtain better crop yields.

Recibido 2-92.

With regard to this situation, the purpose of this work was to study the effect of liming and phosphate fertilization on the yield of corn and the availability of phosphorus in Atacomulco soils.

Five soils were studied, three liming doses were evaluated (0 and the necessary amounts to increase the soil pH to 5.5 and 6.5), and two P levels (0 and 50 ppm) with three replications. A completely randomized experimental design was used.

A corn experiment was established in greenhouse and it was harvested 45 days after sowing. The dry matter yield and the P uptake by the plant were determined. In the soils, pH and extractable P were evaluated. The analysis of variance for the studied variables was realized and, in some cases, contrast tests between treatments were also performed.

The phosphorus applications increased the dry matter yield of corn and the absorption of this nutrient by the plant in all soils, however, the liming response was inconsistent in these.

In soils with a low content of exchangeable aluminum, liming either had an insignificant effect or tended to reduce the yield and availability of P, whereas these variables were increased in soils with a high content of aluminum and a low level of exchangeable calcium.

INTRODUCCION

El estado de México cuenta con 674,609 ha destinadas a la agricultura, de las cuales 604,234 son de temporal y 70,375 son de riego (SARH, 1986). Uno de los problemas que limitan la producción agrícola en algunas zonas de dicho estado es el pH del suelo (De Santiago, 1989). Este autor señala que el problema de la acidez del suelo en el estado de México ha sido reportado por instituciones como Codagem (Comisión para el Desarrollo Agrícola y Ganadero en el

Estado de México) y Banrural, las cuales han implementado algunos programas de aplicación de cal o bien han realizado muestreos con el propósito de determinar cuales zonas presentan problemas de acidez. Fertimex, por otra parte, ha realizado ensayos de encalado en diversos municipios del estado de México en los que se reporta respuesta en el rendimiento de maíz al encalado (Zatarain y Alvarez, 1988). Blas (1987) en su trabajo de caracterización agroecológica del Valle de Atacomulco, México, señala que el principal factor edáfico limitante para la producción agrícola es el bajo pH del suelo que presentan algunas zonas.

Con base en lo señalado anteriormente, este trabajo tuvo como propósito evaluar en invernadero la respuesta del cultivo del maíz a la fertilización fosfatada y al encalado de suelos, así como el efecto de éste en la disponibilidad de fósforo en suelos de Atacomulco, México.

REVISION DE LITERATURA

El Encalado de los Suelos.

Los problemas de infertilidad de los suelos ácidos se relacionan con uno de los siguientes factores: deficiencia de nutrimentos (Ca, Mg o Mo) o bien presencia de sustancias tóxicas (Al, Mn). Una forma de contrarrestar dichos problemas, es mediante el encalado de los suelos. Sin embargo, existe bastante controversia en cuanto al efecto del encalado sobre el rendimiento de los cultivos. Mientras que algunos autores reportan que mediante el encalado se logra incrementar el rendimiento de los cultivos (Awan, 1964; Holford, 1985; Michaelson y Ping, 1987), otros reportan un efecto detrimental del encalado en el rendimiento (Amarasiri y Olsen, 1973; Sumner, 1979) y algunos señalan que no tiene ningún efecto (Macedo, 1985; Alvarado, 1990).

Con el propósito de no caer en generalizaciones erróneas en cuanto al efecto que tiene el encalado de los suelos en el rendimiento de los cultivos es preciso tener presente dos principios: a) las especies cultivadas difieren ampliamente entre sí en su tolerancia a la acidez del suelo (Adams, 1984) y b) la respuesta al encalado depende de la naturaleza de cada suelo (Haynes, 1982). Así, tenemos que en suelos ácidos con un pH menor de 5.0-5.5 las aplicaciones iniciales de cal pueden resultar en un incremento del crecimiento y el rendimiento (Haynes, 1984). Esta respuesta positiva se asocia con la eliminación de la toxicidad del aluminio y manganeso (Haynes, 1984; Holford, 1985). Por otra parte, cuando el pH se eleva por encima de 6.0 o a un valor cercano a la neutralidad, el rendimiento puede disminuir, dicho decremento se relaciona frecuentemente con deficiencias de micronutrientes o bien de Mg o K (Sumner, 1979; Haynes, 1984). También se ha señalado que el encalado disminuye el contenido de P en la planta (Sumner, 1979) y reduce la concentración de P en la solución del suelo (Amarasiri y Olsen, 1973), provocando un decremento en el rendimiento.

Macedo (1985) reporta que el encalado no tuvo efecto en el rendimiento de materia seca de gramíneas y leguminosas forrajeras, y atribuye este resultado al hecho de que los suelos que estudió no presentaban problemas de toxicidad por aluminio o manganeso y su pH era entre 5.5 y 5.7, este resultado concuerda con lo reportado por otros autores en el sentido de que a pH arriba de 5.7, cultivos como maíz y sorgo no responden a la aplicación de cal (Thomas, 1982). Sánchez (1981) señala que la aplicación de cal en suelos de zonas templadas no debe realizarse con el mismo criterio con que se hace en suelos de regiones tropicales. Si en zonas templadas se encala el suelo a valores de pH cercanos a la neutralidad, en suelos tropicales es suficiente con aplicar la cal necesaria para neutralizar el aluminio intercambiable (pH de 5.5) o si es el caso,

eliminar la toxicidad de manganeso (pH de 6.0).

Encalado de Suelos en el Estado de México.

En el estado de México se han realizado algunas experiencias de encalado de suelos por instituciones como Codagem, Fertimex y Banrural, con el propósito de incrementar el rendimiento del cultivo de maíz en suelos ácidos.

En un experimento realizado en los municipios de Ixtlahuaca y Atlacomulco por Fertimex (1987), se encontró que el encalado de suelos con pH promedio de 5.0 incrementó el rendimiento de maíz en 800 kg al aplicar 1000 kg de cal, en 1300 kg cuando se aplicaron 2000 kg de cal y en 1100 kg al aplicar 3000 kg de cal ha^{-1} . Zatarain y Alvarez (1988) reportan resultados similares para suelos de San Miguel Toto, municipio de Metepec.

Por otra parte, en suelos de Chapa de Mota, municipio de Jilotepec, la aplicación de 1000 kg de cal ha^{-1} , sin agregar fertilizante, incrementó el rendimiento de maíz de 2000 a 2500 kg ha^{-1} . Cuando se aplicó fertilizante, además de cal, el incremento del rendimiento fue de 3900 a 4200 kg ha^{-1} (Fertimex, s.f.). De lo anterior se deduce que bajo condiciones de fertilización, la respuesta del maíz al encalado, en dichos suelos, no es considerable.

Alvarado (1990) investigó en invernadero el efecto del encalado en la disponibilidad de fósforo y el rendimiento de materia seca de maíz en suelos de los municipios de Soyaniquilpan y Aculco, Méx. Sus resultados muestran que el encalado no tuvo un efecto significativo en el rendimiento de materia seca, aun cuando la absorción de fósforo por el cultivo se incrementó.

MATERIALES Y METODOS

Se trabajó con cinco suelos del Valle de Atlacomulco, México, identificados como: Cuendá (propiedad del Sr. Pablo Núñez), Cuendo II (propiedad del Sr. José Blas), Cuendo III (propiedad del Sr. José Blas), Atlacomulco (propiedad del Sr. Rogelio Monroy) y Acambay (propiedad del Sr. Facundo González); los cuales se clasifican como Feozem lúvicos (Suelos Cuendo), Feozem háplico (Suelo Acambay) y Planosol mólico (Suelo Atlacomulco) (SPP, 1981). Los suelos estudiados presentan valores de pH en agua entre 4.2 y 5.8. El trabajo se desarrolló en laboratorio e invernadero.

Muestreo y Caracterización de los Suelos.

En cada uno de los sitios de trabajo se tomó una muestra compuesta de suelo a una profundidad de 0-20 cm. Los suelos se secaron al aire y cada muestra compuesta se homogeneizó tanto como fue posible.

Los suelos de las muestras compuestas se tamizaron con una criba con retículas cuadradas de 8 mm para su uso posterior en el experimento en invernadero. Para los análisis de laboratorio se tomaron submuestras de 2 kg por el método de cuarteos y se pasaron por un tamiz de malla 10 (2 mm) (Jackson, 1964).

En el laboratorio los suelos se caracterizaron en cuanto a las siguientes propiedades: textura, mediante el método del hidrómetro de Bouyoucos (1951); pH, tanto en agua como en una solución 1N de KCl, en una relación 1:2 (Jackson, 1964); materia orgánica, se utilizó el método de combustión húmeda de Walkley y Black, modificado por Walkley (1947); P extractable, el método empleado fue el de Bray I (Bray y Kurtz, 1945); bases intercambiables (Ca, Mg, K y Na), éstas se extrajeron con acetato de amonio 1N, pH 7.0 (Jackson, 1964), el Ca y Mg se determinaron por valoración con verseno y el K y Na por flamometría; aluminio intercambiable, se utilizó KCl 1N como solución extractora (Barnhisel y

Bertsch, 1982) y la determinación se realizó por titulación con NaOH, utilizando fenolftaleína como indicador (McLean, 1965); capacidad de intercambio catiónico, mediante el método de suma de bases y acidez intercambiable (Aguilar, 1987); fijación relativa de P, se empleó el método señalado por Alvarez (1982); capacidad de campo, por el método de la columna, reportado por Aguilera y Martínez (1980).

Determinación de la Dosis de Cal, Encalado de los Suelos y Aplicación de Fósforo.

Se encalaron los suelos hasta alcanzar un pH de 5.5 (valor de pH arriba del cual se eliminan los problemas por aluminio intercambiable) y de 6.5 (valor de pH considerado como nivel de sobre encalado), también se utilizó un testigo (sin adición de cal). Las dosis de cal por aplicar en cada suelo se determinaron mediante incubación de 100 g de suelo, a temperatura ambiente, con dosis crecientes de CaCO_3 (McLean, 1982) durante 60 días. Una vez determinado el requerimiento de cal, se procedió al encalado de los suelos. Se pesaron 2.1 kg de suelo y se colocaron en macetas (6 por dosis por suelo), posteriormente se aplicó la cal (CaCO_3) correspondiente para obtener los pH deseados (5.5 y 6.5) en cada uno de los suelos estudiados (Cuadro 1). Cada maceta se homogeneizó tanto como fue posible y se llevó a capacidad de campo con agua destilada. Las macetas se taparon con un plástico y se dejaron en incubación por un periodo de 45 días, a fin de que la cal se equilibrara con el suelo. Al término de la incubación, los suelos se secaron y se aplicaron los tratamientos de fósforo (0 y 50 ppm) a partir de una solución patrón de 2000 ppm de P, preparada con H_3PO_4 . La cantidad de solución patrón correspondiente se aplicó en el agua necesaria para llevar cada suelo a capacidad de campo. Los suelos se mantuvieron en incubación por una semana y finalmente se secaron para tomar una muestra de 100 g de suelo para análisis de

laboratorio. Después del encalado y la fertilización fosfatada del suelo se determinó el pH en agua y el P extractable (Olsen *et al.*, 1954).

Experimento en Invernadero.

En invernadero se estableció un ensayo con el cultivo de maíz (*Zea mays* L.), en los suelos encalados y fertilizados con fósforo, a fin de estudiar la respuesta de este cultivo a dichos tratamientos. En el ensayo se utilizó un diseño experimental completamente al azar con 30 tratamientos y tres repeticiones, para lo cual se probaron cinco suelos, tres niveles de cal y dos dosis de P. Se sembraron cinco semillas de maíz (H-30) en cada maceta. A los 10 días después de la germinación se hizo un aclareo a tres plantas por maceta. Durante el desarrollo del experimento las unidades experimentales se mantuvieron a capacidad de campo con agua destilada y a partir del aclareo se aplicaron 100 ml de la solución nutritiva recomendada por Waugh y Fitts (1966), por maceta cada semana.

El experimento se mantuvo por un período de 45 días a partir de la siembra, al término del cual se cosechó la parte aérea de la

planta y se secó en estufa a 65-70°C por 72 h. Posteriormente, se registró el peso seco de cada una de las muestras. En el tejido vegetal se determinó el P total mediante el método del molibdovanadato de amonio (Jackson, 1964), previa molienda y digestión con una mezcla de ácidos sulfúrico-perclórico, relación 4:1, según Batey *et al.* (1974), con tratamiento de 2 ml de peróxido de hidrógeno. Se emplearon 5 ml de mezcla ácida por 0.5 g de material vegetal.

Para el análisis estadístico del experimento se realizó análisis de varianza para las variables pH, P extractable, rendimiento de materia seca y P absorbido por la planta. Cuando se encontró diferencia entre tratamientos se procedió a hacer comparaciones de medias mediante la prueba de Tukey, o bien mediante contrastes, cuando un suelo mostró un comportamiento distinto.

RESULTADOS Y DISCUSION

Se realizó la caracterización de algunas propiedades químicas y físicas de los suelos con el propósito de tener un mayor conocimiento de los suelos objeto de estudio (Cuadro 2). El pH de los suelos varía de 4.2 a 5.8, considerándose como moderada y fuertemente ácidos (Letelier, citado por Etchevers, 1989). Los valores de materia orgánica son de 1.4 a 2.3%, los cuales, de acuerdo a Tavera (citado por Etchevers, 1989), se clasifican como pobres (Suelos I, IV y V) y medios (Suelos II y III). Los contenidos de P extraído mediante Bray I fueron de 27 a 73 ppm por lo que se clasifican como altos (CSTPA, citado por Etchevers, 1989), excepto el Suelo I que tiene un nivel medio. Los Suelos II, III, V, pese a tener un pH fuertemente ácido, presentan una capacidad de fijación relativa de fósforo media (de 45 a 53%) mientras que ésta es baja en los Suelos I y IV (24 y 26%). En cuanto a cationes intercambiables; el calcio varía de 3.12 a 8.56 cmol kg⁻¹, el magnesio de 1.56 a 4.66 cmol kg⁻¹ y el

Cuadro 1. Distribución de los tratamientos ensayados en suelos del Valle de Atlacomulco en el experimento de encalado y fertilización fosfatada.

Suelo	Clave	Sin P (0 ppm)			Con P (50 ppm)		
		- Nivel de cal (ton CaCO ₃ ha ⁻¹) ^a -					
		1	2 ^b	3 ^c	1	2	3
Cuendó I	I	0	1.2	3.6	0	1.2	3.6
Cuendó II	II	0	5.4	7.2	0	5.4	7.2
Cuendó III	III	0	5.0	8.0	0	5.0	8.0
Atlacomulco IV	IV	0	1.2	2.5	0	1.2	2.5
Acambay V	V	0	6.0	9.0	0	6.0	9.0

a Considerando 1 ha = 2000 ton de suelo.

b CaCO₃ para alcanzar un pH de 5.5.

c CaCO₃ para alcanzar un pH de 6.5.

Cuadro 2. Características de los suelos estudiados.

Suelo	pH H ₂ O	rel KCl	1:2	M.O. %	Fijación de P %	P Bray I ppm	Al	Ca	Mg cmol kg ⁻¹	K	Na
I	5.2	4.3		1.5	26	27	0.31	5.06	3.50	0.69	0.77
II	4.3	3.7		2.3	45	40	1.32	7.78	2.72	0.47	0.70
III	4.2	3.6		2.2	45	41	1.47	3.12	1.56	0.46	0.61
IV	5.8	4.7		1.7	24	73	0.22	8.56	4.66	0.90	0.84
V	4.6	3.8		1.4	53	60	0.43	7.00	3.88	0.67	0.77

Suelo	CIC cmol kg ⁻¹	Al inter.	Cap. Campo	Arena	Limo	Arcilla	Textura
I	10.3	3.0	19.9	74	6	20	Franco-arenoso
II	13.6	10.2	19.6	77	5	19	Franco-arenoso
III	8.0	20.4	18.6	74	11	15	Franco-arenoso
IV	15.2	1.5	22.3	69	5	26	Fco.-Arc.-Lim.
V	13.4	3.4	24.1	57	13	30	Fco.-Arc.-Lim.

potasio de 0.46 a 0.90 cmol kg⁻¹. De acuerdo a la clasificación de Etchevers *et al.* (citados por Etchevers, 1989); el contenido de Ca es medio (Suelos I, II, IV y V) y bajo (Suelo III), el contenido tanto de Mg como de K es medio (Suelos II y III) y alto (Suelos I, IV y V). El contenido de aluminio intercambiable varía de 0.22 a 1.47 cmol kg⁻¹, con un porcentaje de saturación de aluminio menor de 18, nivel en el cual el aluminio intercambiable no ocasiona problemas de toxicidad (Landon, 1984). La CIC de los suelos es de 8 a 15.2 cmol kg⁻¹ y de acuerdo a Landon (1984) es baja. La textura es franco-arenosa y franco arcillo-arenosa y la capacidad de campo de los suelos estudiados fue de 18.6 a 24.1%, estos valores sólo tuvieron interés para el manejo del experimento.

Efecto en el pH.

Las dosis de cal aplicadas en cada suelo permiten obtener los valores de pH deseados, o

en su defecto muy cercanos a éstos, como puede observarse en el Cuadro 3. El pH promedio de los suelos, cuando se aplicó la cal estimada para elevar el pH a 5.5, fue de 5.7 y de 6.3 cuando se esperaba elevar el pH a 6.5.

Cuadro 3. pH de los suelos estudiados después de la aplicación de cal y P. Promedio de 3 repeticiones.

Suelo	0 ppm P			50 ppm P		
	a	b	c	a	b	c
	pH					
I	5.1	5.7	6.5	5.1	5.5	6.4
II	4.3	5.8	6.3	4.2	5.7	6.2
III	4.1	5.7	6.4	4.1	5.6	6.4
IV	5.5	5.9	6.3	5.5	5.9	6.2
V	4.7	5.8	6.5	4.6	5.6	6.4

a = Sin cal.

b = Cal para pH 5.5.

c = Cal para pH 6.5.

Efecto en el P Extractable.

El Cuadro 4 muestra los valores de P extraído en los suelos después de la aplicación de cal y fósforo. En general, el encalado no tuvo efecto en el P extraído de los suelos. El análisis de varianza para dicha variable (datos no presentados) muestra que no hay un efecto significativo del factor cal. Sin embargo, los Suelos III y IV muestran cierto efecto de cal en ausencia de fósforo; en el Suelo III el fósforo extraído se incrementó con la aplicación de cal, en ambas dosis, mientras que en el Suelo IV disminuyó cuando el pH se elevó a 6.5. Mediante prueba de contrastes (Cuadro 5) pudo comprobarse que en ambos casos el efecto de la cal es significativo. De acuerdo a los resultados obtenidos, se observa que el P extraído no varió (Suelos I, II y V), se incrementó (Suelo III) o disminuyó (Suelo IV) por efecto del encalado. Este comportamiento diferente que presentan los suelos al encalado ejemplifica bastante bien lo señalado por Haynes (1982) en el sentido de que el encalado puede incrementar o disminuir la extractabilidad del fósforo, lo que depende de las propiedades de cada suelo y de la cantidad de cal aplicada.

El incremento en el P extraído por efecto del encalado en el Suelo III puede deberse a

Cuadro 4. P extraído (P Olsen) de los suelos estudiados después de la aplicación de cal y P. Promedio de 3 repeticiones.

Suelo	0 ppm P			50 ppm P		
	a	b	c	a	b	c
I	26	24	24	47	47	47
II	18	18	19	41	41	38
III	23	30	33	53	47	52
IV	57	53	46	75	70	71
V	32	29	29	54	45	55

a = Sin cal.

b = Cal para pH 5.5.

c = Cal para pH 6.5.

Cuadro 5. Prueba de contrastes para la variable P extraído entre el tratamiento sin cal-sin P vs con cal¹-sin P en el suelo III (A) y el tratamiento sin cal-sin P vs con cal²-sin P en el suelo IV (B).

Contraste	GL	Suma cuadrados	Cuadrados medios	Valor F	Pr > F
A	1	61.44	61.44	4.56	0.03
B	1	172.886	172.806	12.81	0.0007

1 = Para elevar el pH a 5.5.

2 = Para elevar el pH a 6.5.

la hidrólisis de fosfatos de aluminio, dicho mecanismo ha sido considerado como el responsable de una mayor extractabilidad del fósforo, al elevar el pH del suelo (Lindsay y Moreno, 1960; Holford, 1983). El hecho de que el Suelo III presentó el menor pH (4.2) y el mayor contenido de aluminio intercambiable ($1.47 \text{ cmol kg}^{-1}$) apoyan esta suposición. Otros autores (Awan, 1964; Adams, 1984) atribuyen el incremento del P extractable a una mayor descomposición de la materia orgánica, sin embargo, esto es menos probable en nuestro estudio ya que el contenido de materia orgánica del Suelo III es bajo.

Por otra parte, el decremento en el P extraído que tuvo lugar en el Suelo IV con la aplicación de cal, pudo deberse a la formación de fosfatos de calcio, tal como ha sido reportado por Harrison y Adams (1987) y Hojito *et al.* (1987). Por último, es importante señalar que el efecto que tiene el encalado sobre el P extractable del Suelo III, no se presentó cuando se aplicó fósforo, lo cual posiblemente se deba a que dicho suelo no presenta problemas de retención de fósforo (Cuadro 2). La aplicación de fósforo, aún sin aplicar cal, incrementó considerablemente la extractabilidad del fósforo en todos los suelos, esto significa que en suelos ácidos y con baja capacidad de retención de P, el P es suficiente para "neutralizar" el aluminio intercambiable (Sumner, 1979).

Efecto en el P Absorbido por la Planta.

Los resultados de P absorbido por el maíz se observan en el Cuadro 6. El análisis de varianza (datos no presentados) muestra que no existe efecto significativo del factor cal, mientras que si lo hay para los factores suelo y fósforo, así como para la interacción suelo-cal. Esto último se explica por la diferente respuesta que presentan los suelos al encalado. No obstante que en forma global no se observa un efecto significativo del encalado sobre la absorción de fósforo; es claro que en el Suelo III existe un marcado efecto de la cal en los dos niveles aplicados en ausencia de fósforo, y en presencia de éste el efecto es altamente significativo cuando el pH se elevó aproximadamente a 5.5; esto se comprobó por la prueba de contrastes para estos tratamientos vs el testigo (datos no presentados). Por otra parte, se observa en los datos del Cuadro 6 que en los Suelos I, IV y V el P absorbido tiende a disminuir con el encalado. Los resultados obtenidos concuerdan con los observados para la variable P extractable, lo cual se explica porque ambas variables estiman de alguna manera la disponibilidad del P. Por lo tanto, los argumentos que explican el efecto del encalado en la absorción del fósforo son los mismos que se mencionaron para la variable P extraído.

Cuadro 6. P absorbido (mg maceta^{-1}) por el maíz (*Zea mays* L.) en invernadero en los suelos estudiados, con aplicación de cal y fósforo. Promedio de 3 repeticiones.

Suelo	0 ppm P			50 ppm P		
	a	b	c	a	b	c
	----- mg maceta^{-1} -----					
I	4.9	2.7	5.3	13.2	10.3	9.5
II	2.8	2.7	2.4	7.3	10.5	9.8
III	2.2	4.3	5.3	4.3	13.2	8.6
IV	5.7	4.6	5.8	12.8	10.4	11.8
V	4.4	4.0	3.7	11.3	7.3	7.1

a = Sin cal.
b = Cal para pH 5.5.
c = Cal para pH 6.5.

En cuanto a la aplicación de fósforo se observa que, aunque los suelos presentan un contenido alto de fósforo, hay un efecto altamente significativo de éste ($\text{Pr}>\text{F} = 0.0001$) sobre el P absorbido por la planta.

Efecto sobre el Rendimiento de Materia Seca.

El Cuadro 7 muestra los datos de rendimiento de materia seca del maíz en invernadero. El análisis de varianza (datos no presentados) para dicha variable arroja significancia para los factores suelo ($\text{Pr}>\text{F} = 0.0001$), fósforo ($\text{Pr}>\text{F} = 0.0001$) y la interacción suelo-cal ($\text{Pr}>\text{F} = 0.021$), no así para el factor cal. Sin embargo, en el Suelo III se observó que, en ausencia de P, el encalado a pH de 5.5 incrementó el rendimiento de materia seca en 100% y cuando se encaló el suelo hasta pH de 6.5, el incremento fue de 150% aproximadamente. Mediante prueba de contrastes pudo comprobarse que ambos niveles de cal tuvieron un efecto significativo sobre el rendimiento ($\text{Pr}>\text{F} = 0.01$ para pH 5.5 y $\text{Pr}>\text{F} = 0.0006$ para pH 6.5) en dicho suelo.

Cuando se aplicó fósforo en el Suelo III, se observó que éste por si solo incrementa el rendimiento de materia seca; sin

Cuadro 7. Rendimiento de materia seca (g maceta^{-1}) de maíz (*Zea mays* L.) en invernadero en los suelos estudiados, con aplicación de cal y fósforo. Promedio de 3 repeticiones.

Suelo	0 ppm P			50 ppm P		
	a	b	c	a	b	c
	----- g maceta^{-1} -----					
I	5.0	3.3	4.7	11.1	9.2	8.5
II	3.0	3.0	2.6	7.3	9.0	7.4
III	2.2	4.4	5.4	4.3	11.3	7.6
IV	5.1	4.3	5.2	9.7	7.5	8.0
V	4.7	4.2	4.2	10.5	6.7	6.6

a = Sin cal.
b = Cal para pH 5.5.
c = Cal para pH 6.5.

embargo, al aplicar cal, ya sea hasta pH de 5.5 o de 6.5, el incremento es aún mayor, siendo el mejor rendimiento el que se tiene al aplicar P y cal hasta pH de 5.5. Esto último fue válido también para el Suelo II. Al comparar mediante contrastes el tratamiento con P vs el tratamiento con P-cal (pH 5.5) se encontró que existe diferencia significativa entre éstos ($Pr > F = 0.0001$ para el Suelo III y $Pr > F = 0.054$ para el Suelo II).

En general, los resultados obtenidos muestran que en algunos Suelos (II y III) el encalado favoreció un mayor rendimiento, tal como lo han reportado algunos autores (Holford, 1985; Michaelson y Ping, 1987), mientras que en otros el encalado tendió a reducir el rendimiento (I, IV y V). El incremento en el rendimiento de materia seca que se tiene en los Suelos II y III, puede atribuirse a dos razones: la primera es la neutralización del aluminio intercambiable al elevarse el pH del suelo de 4.2 a 5.5 en promedio, en el Cuadro 2 se observa que estos suelos presentan los contenidos más altos de aluminio, lo cual explica porqué el encalado permitió un mejor aprovechamiento del P aplicado (Davelouis, 1980; Holford, 1985); la segunda razón es el suministro de Ca que se hizo con el encalado. En el Suelo III esto último cobra mayor importancia ya que dicho suelo presenta un contenido de calcio considerado como bajo (Cuadro 2), de ahí la respuesta favorable a la aplicación de cal. Gregan *et al.* (1989) señalan que uno de los mecanismos que explican la respuesta de los cultivos al encalado es precisamente la corrección de deficiencias de calcio. Finalmente, los resultados obtenidos en este estudio al encalar el suelo a pH 6.5 muestran que el rendimiento disminuyó, lo cual coincide con lo señalado por algunos autores en el sentido de que el encalado a valores cercanos a la neutralidad disminuye el rendimiento (Sumner, 1979; Haynes, 1984) o bien de que el maíz no responde al encalado a valores por arriba de pH 5.7 (Thomas, 1982).

CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos en este trabajo permiten establecer las siguientes conclusiones:

- a) En todos los suelos considerados en este estudio hay respuesta positiva a la aplicación de fósforo pese a presentar alto contenido de éste. Tanto el rendimiento de materia seca del maíz como la disponibilidad de fósforo en el suelo fueron mayores al fertilizar con P.
- b) Los suelos estudiados responden de manera diferente a la aplicación de cal; en los Suelos Cuendo I, Atlacomulco y Acambay, el encalado tendió a disminuir la absorción de fósforo y el rendimiento del cultivo, mientras que en el Suelo Cuendo III el rendimiento se incrementó considerablemente con la aplicación de cal.
- c) El encalado de suelos es una práctica que se recomienda para suelos ácidos con alto contenido de aluminio intercambiable y/o con deficiencias de calcio. Pearson, citado por Kamprath (1984), señala que el maíz responde al encalado sólo cuando el pH del suelo es menor de 5.0 y tiene un % de saturación de aluminio mayor de 15. En los suelos de este estudio que no presentan dichos problemas, aun cuando sean ácidos, la aplicación de P es suficiente para incrementar el rendimiento.
- d) Cuando es necesaria la aplicación de cal, el pH del suelo no debe elevarse a más de 5.5 para el caso del maíz, para no correr el riesgo de reducir la disponibilidad de P y abatir los rendimientos.

LITERATURA CITADA

- ADAMS, F. 1984. Crop response to lime in the southern United States. pp. 211-265. *In*: F. Adams (ed.). Soil acidity and liming. (Agronomy 12). Second edition. American Society of Agronomy. Crop Science Society of America. Soil Science Society of America. Madison, Wisconsin.
- AGUILAR, A. G. 1987. Capacidad de intercambio catiónico. pp. 93-107. *In*: A. Aguilar S., J. D. Etchevers y J. Z. Castellanos. Análisis químico para evaluar la fertilidad del suelo. Publicación especial No. 1. Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo. Chapingo, México.
- AGUILERA, C. M. y R. MARTINEZ E. 1980. Relaciones agua suelo planta atmósfera. 2a. Edición. Departamento de Enseñanza, Investigación y Servicio en Irrigación. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México.
- ALVARADO L., J. 1990. Efecto de la cal en la disponibilidad de P y los componentes responsables de su fijación. Centro de Edafología, Colegio de Postgraduados. Montecillo, México. (Tesis de Maestría).
- ALVAREZ V., H. 1982. Efecto de los factores cantidad, intensidad y capacidad amortiguadora de fosfato en la evaluación del fósforo disponible, de los suelos derivados de cenizas volcánicas de la Meseta Tarasca, Edo. Michoacán. Centro de Edafología, Colegio de Postgraduados. Chapingo, México. (Tesis de Doctorado).
- AMARASIRI, S. L., y S. R. OLSEN. 1973. Liming as related to solubility of P and plant growth in an acid tropical soil. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 37:716-721.
- AWAN, A. B. 1964. Effect of lime on availability of phosphorus in Zamorano soils. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 28:672-673.
- BARNHISEL, R. y P. M. BERTSCH. 1982. Aluminum. pp. 275-300. *In*: A. L. Page, R. H. Miller, and D. R. Keeney. Methods of Soil analysis (Part 2). Second edition (Agronomy 9) American Society of Agronomy Soil Science Society of America. Madison, Wisconsin.
- BATEY, T., M.S. CNESSNER, y I. R. WILLET. 1974. Sulphuric perchloric acid digestion of plant material for nitrogen determination. *Anal. Chem. Acta* 69:484-487.
- BLAS. H. J. 1987. Caracterización agroecológica del Valle de Atacomulco, México. Departamento de Suelos. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. (Tesis de Licenciatura).
- BOUYOUCOS, G. C. 1951. A recalibration of the hydrometer method for making mechanical analysis of soils. *Agron. J.* 43:434-348.
- BRAY, R. J. y L. T. KURTZ. 1945. Determination of total, inorganic, and available forms of phosphorus in soils. *Soil Sci.* 59:39-45.
- DAVELOUIS, J. R. 1980. Efecto del encalado y del fósforo del fosfobayovar en el pH y en la neutralización del aluminio en un Ultisol de Pucallpa. *Anales Científicos de la Universidad Agraria, La Molina*, XVIII:269-280.
- DE SANTIAGO, D. S. A. 1989. Evaluación cartográfica de la acidez de los suelos en el estado de México. Departamento de Suelos. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. (Tesis de Licenciatura).
- ETCHEVERS B. J. D. 1989. Interpretación de los análisis químicos de suelo. Documento 35. Notas del curso Análisis químico de suelo y planta. Centro de Edafología. Colegio de Postgraduados. Montecillo, México. Mimeografiado.

- FERTIMEX. 1987. Rendimiento de 4 lotes de fertilización de maíz de temporal en un suelo ácido (pH 5.0) tratado con tres dosis de cal agrícola (Carbonato de calcio/ha), en los municipios de Ixtlahuaca y Atlacomulco, estado de México. Gerencia de Campo. Hoja mimeografiada.
- FERTIMEX. s.f. Rendimiento (ton/ha) obtenido en maíz H-28 durante 2 años consecutivos de aplicación de cal en Chapa de Mota, municipio de Jilotepec, estado de México. Gerencia de campo. Hoja mimeografiada.
- GREGAN, P.D., J.R. HIRT, y M.K. CONYERS. 1989. Amelioration of soil acidity by liming and other amendments. pp. 205-263. In: A.D. Robson (ed.) Soil acidity and plant growth. Academic Press, Australia.
- HARRISON, R.B., y F. ADAMS. 1987. Solubility characteristics of residual phosphate in a fertilized and limed Ultisol. Soil Sci. Soc. Am. J. 51:963-969.
- HAYNES, R. J. 1982. Effect of liming on phosphate availability in acid soils. Plant Soil 68:289-308.
- HAYNES, R. J. 1984. Lime and phosphate in the soil-plant system. Adv. Agron. 37:249-315.
- HOLFORD, I. C.R. 1983. Effects of lime on phosphate sorption characteristics, and exchangeable and soluble phosphate in fifteen acid soils. Aust. J. Soil Res. 21: 333-342.
- HOLFORD, I. C.R. 1985. Effects of lime on yields and phosphate uptake by clover in relation to changes in soil phosphate and related characteristics. Aust. J. Soil Res. 23:75-83.
- HOJITO, M.,S. HIGASHIDA, A. NISHIMUNE, y K. TAKAO. 1987. Effects of liming on grass growth, soil solution composition, and microbial activities. Soil Sci. Plant Nutr. 33:177-185.
- JACKSON, M.L. 1964. Análisis químico de suelos. Traducción al español de J.M. Beltrán. Ed. Omega. Barcelona, España.
- KAMPRATH, E. J. 1984. Crop response to lime on soils in the tropics. pp. 349-368. In: F. Adams (ed.) Soil acidity and liming, (Agronomy 12) Second edition. American Society of Agronomy. Crop Science Society of America. Soil Science Society of America. Madison, Wisconsin.
- LANDON, J.R. 1984. Booker tropical soil manual. Booker Agriculture International Limited. Londres.
- LINDSAY, W.L., y E.C. MORENO. 1960. Phosphate phase equilibria in soils. Soil Sci. Soc. Am. Proc. 24:177-182.
- MACEDO, W. 1985. Efeito de fontes e níveis de fosforo e calcario na adubacao de forrageiras in solos do Rio Grande Do Sul. Pesq. Agropec. Bras. 20:643-657.
- McLEAN, E. O. 1965. Aluminum. pp. 978-998. In: C.A. Black (ed.) Methods of soil analysis. Part 2. (Agronomy 9). American Society of Agronomy. Madison, Wisconsin.
- McLEAN, E. O. 1982. Soil pH and lime requirement. pp. 199-224. In: A.L. Page, R.H. Miller, and D.R. Keeney (ed.) Methods of soil analysis. Part 2. (Agronomy 9). Second edition. American Society of Agronomy. Soil Science Society of America. Madison, Wisconsin.
- MICHAELSON, G.J., y C.L. PING. 1987. Effects of P, K, and liming on soil pH, Al, Mn, K, and forage barley dry matter yield and quality for a newly-cleared cryorthod. Plant and Soil 104:155-161.
- OLSEN, S.R., C.V. COLE, F.S. COLE, y L.A. DEAN. 1954. Estimation of available phosphorus in soils by extraction with sodium bicarbonate. U.S. Dept. Agr. Circ. 939:1-19.

SANCHEZ P.A. 1981. Suelos del trópico; características y manejo. Traducción al español de F. Camacho. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura. San José, Costa Rica.

SARH. 1986. Programa de planeación y siembras 0-I 86/87 y P-V 87/87.

SPP. 1981. Síntesis geográfica del estado de México. Coordinación General de los Servicios Nacionales de Estadística, Geografía e Informática. México.

SUMNER, M.E. 1979. Response of alfalfa and sorghum to lime on high weathered soils. *Agron. J.* 71:763-766.

THOMAS, G.W. 1982. Soil chemistry. pp. 159-175. *In*: V.J. Kilmer (ed.). Handbook of soils and climate in agriculture. C.R.C. Press. Boca Raton, Florida.

WALKLEY, A. 1947. A critical examination of a rapid method for determining organic carbon in soils. Effect of variation in digestion conditions and of inorganic soil constituents. *Soil Sci.* 63:251-264.

WAUGH, C.D. y W.J. FITTS. 1966. Estudios de interpretación de análisis de suelos; laboratorio y macetas. Boletín técnico No. 3 de la serie Proyecto Internacional de Análisis de Suelo. Estación Experimental Agrícola de la Universidad de Carolina del Norte.

ZATARAIN J.S. y M.E.J. ALVAREZ. 1988. Ensayo sobre encalado y niveles de fertilización para maíz en los municipios de Metepec y Almoloya de Juárez. Fertimex, Gerencia de Ventas Zona Centro.

**INDICE DE AUTORES
AUTHOR INDEX**

- Aceves N., L. 59
 Aguilar A., J.L. 75
 Alcalde B., S. 84
 Alcántar G., G. 184
 Alvarado L., J. 262
 Amado A., J.P. 174
 Anaya G., M. 3, 94
 Arias R., H.M. 151, 257

 Bethlenfalvay, G.J. 236
 Bravo L., A.G. 43
 Brígida B., E.[†] 249
 Bueno De A., G. 59

 Cabrera, A. 15
 Cabrera C., R.F. 151
 Cajuste, L.J. 166, 262
 Campos, A. 51
 Carrillo G., R. 166
 Castellanos, J.Z. 220
 Catalán V., E.A. 33, 37
 Companioni, N. 15

 Dubroeuq, D. 51

 Escobar G., A.J. 184

 Ferrera C., R. 236
 Figueroa S., B. 257

 García P., R.E. 249
 Geissert, D. 51
 Guzmán P., R.A. 236

 Hernández H., L. 166
 Hernández S., G. 201

 Kochetov 15

 López M., R. 75

 Martínez M., J.F. 140
 Martínez R., J. 115
 Medina G., G. 59
 Medina M., E.J. 23, 193
 Medina M., M.C. 23, 193
 Meza F., G. 201

 Oleschko, K. 151
 Orona C., I. 115
 Ortiz S., C.A. 140
 Ortiz S., M.L.M. 94

 Peña C., J.J. 220
 Pérez Z., O. 66, 106
 Perales C., M.A. 211

 Ramírez G., R.M. 201
 Ramírez S., J.H. 66, 106
 Rodríguez A., J. 184
 Rodríguez N., F. 249

 Serna P., A. 211
 Sobachkin, A. 15

 Tirado T., J.L. 84, 184
 Tsuzuki R., G. 201

 Valencia, G. 201
 Villa C., M.M. 33, 37
 Volke H., V. 84, 127

 Zárate Z., R. 3

**REVISORES QUE HAN COLABORADO CON LA
REVISTA TERRA DURANTE 1992**

DR. RAFAEL ACOSTA HERNANDEZ, Montecillo
DR. ANDRES AGUILAR SANTELISES, Chapingo
DR. GABRIEL ALCANTAR GONZALEZ, Montecillo
M.C. JORGE ALVARADO LOPEZ, Montecillo
DR. GUSTAVO BACA CASTILLO, Montecillo
M.C. ANGEL G. BRAVO LOZANO, Zacatecas
DR. LENOM J. CAJUSTE, Montecillo
M.C. JAVIER Z. CASTELLANOS, Celaya
M.C. ALFREDO ECHEGARAY ALEMAN, México, D.F.
DR. LUIS FERNANDO FLORES LUI, Cd. Lerdo
M.C. ARTURO GALVIS SPINOLA, Montecillo
M.C. GABRIEL HARO AGUILAR, Montecillo
DR. REGGIE J. LAIRD, Montecillo
DR. ABEL MUÑOZ OROZCO, Montecillo
DR. EDUARDO A. NARRO FARIAS, Saltillo
DR. ROBERTO NUÑEZ ESCOBAR, Montecillo
DRA. KLAUDIA OLESCHKO LUTKOVA, Montecillo
DR. JOSE LUIS OROPEZA MOTA, Montecillo
M.C. MIGUEL ORTIZ OLGUIN, Chapingo
M.C. ROBERTO QUINTERO LIZAOLA, Montecillo
M.C. JOSE DONALDO RIOS BERBER, Montecillo
M.C. ARMANDO TACISTRO SOUTO, El Batán
DR. LEONARDO TIJERINA CHAVEZ, Montecillo
DR. JUAN LUIS TIRADO TORRES, Montecillo
DR. ANTONIO TRINIDAD SANTOS, Montecillo
DR. JAIME XAVIER UVALLE BUENO, Cd. Obregón
M.C. MIGUEL ANGEL VERGARA SANCHEZ, Chapingo
DR. VICTOR VOLKE HALLER, Montecillo

REVISTA TERRA

NORMAS PARA PUBLICACION

TIPO DE MANUSCRITO PARA PUBLICACION

La Revista **TERRA** acepta trabajos, en lengua española, 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 Reseña de Libros. Se entiende por Artículo Científico aquel 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 la investigación.

Los **Ensayos o Revisiones de Literatura** son artículos basados en una recopilación de artículos científicos o de investigación existen-

tes, en que el autor aporta su opinión personal sobre el tema y establece conclusiones respecto del estado actual del conocimiento del tema.

TERRA publicará las **Cartas al Editor** con opiniones o comentarios debidamente argumentados, que reciba. 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 son de interés para los científicos del suelo.

La Revista **TERRA** acepta colaboraciones de todos los miembros de la Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo, así como de individuos que deseen publicar sus trabajos en ella, pero no tengan esta calidad. 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.

NOTA: Los manuscritos deberán enviarse con original y dos copias, escritos a doble espacio, a:
Editor de la Revista **TERRA**,
Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo A. C.
Apartado Postal 45,
56230 Chapingo, Edo. de México.
México.

Versión revisada 7-88.

CONTENIDO DEL MANUSCRITO

Los Artículos Científicos y las Notas Científicas que se presentan deberán contar de las siguientes partes: (a) Título; (b) Autor(es); (c) Institución(es) responsable(s) del trabajo y dirección de los autores; (d) Resumen; (e) Palabras claves; (f) Summary; (g) Index words; (h) Introducción, que aparte de la motivación, importancia de los objetivos, deberá incluir aquellos aspectos más importantes, relativos del tema central, de la revisión de literatura; (i) Materiales y Métodos, donde se indique claramente el o los método(s) experimental(es) empleado(s) para dar respuesta a las hipótesis del trabajo; (j) Resultados y Discusión; (k) Conclusiones; y (l) Literatura Citada. El Comité Editorial podrá aceptar algunas modificaciones de esta estructura, cuando el tenor del texto así lo aconseje.

Los Ensayos o Revisiones de Literatura deberán constar de las siguientes partes: (a) Título; (b) Autor(es); (c) Institución donde se desarrolló el trabajo; (d) Resumen; (e) Palabras claves; (f) Summary; (g) Index words; (h) Introducción; (i) Desarrollo del tema, con los subtítulos que se estimen convenientes; (j) Discusión, donde fuere procedente; (k) Conclusiones; y (l) Literatura Citada.

Las Cartas al Editor y las Reseñas de Libros no tienen un formato definido, pero no deberán ser de más de dos cuartillas a máquina, doble espacio.

FORMATO DEL MANUSCRITO

Los trabajos deben enviarse mecanografiados en papel tamaño carta a doble espacio dejando márgenes en los cuatro costados de 2.5 cm y con las líneas numeradas. Las páginas, incluyendo los Cuadros y las Figuras, se numerarán correlativamente. El texto no deberá exceder de 20 páginas, siendo 15 el largo ideal para un Artículo Científico y 8 para una Nota Científica. Cada Cuadro o Figura se incluirá en una hoja aparte con su correspondiente número con lápiz de grafito suave en el reverso. Las leyendas correspondientes se mecanografiarán en hojas apartes (una hoja para cada Cuadro o Figura). Los Cuadros y las Figuras contendrán sólo la información esencial y en ningún caso repetir los datos que se presenten en otra forma. Las unidades que se empleen serán los del Sistema Métrico Decimal.

ESPECIFICACIONES PARA EL FORMATO

Título. El título se escribirá con mayúsculas, al inicio y al centro de la página. Se colocará también traducido al inglés, inmediatamente abajo del título en español. El título en inglés se escribirá con minúsculas, excepto las primeras letras de cada palabra, dos espacios sencillos abajo del anterior. El título deberá ser breve e indicar en forma precisa la naturaleza y contenido del artículo. Un título largo no es necesariamente el mejor. Así por ejemplo "Fijación de Fósforo en un Andosol de Colima" es mejor que "Determinación

de la Cantidad de Fósforo Fijado en los Horizontes A y B de un Perfil Alterado en un Suelo Andosol del Estado de Colima".

Autores. Se incluirá el nombre del autor o autores en la forma en que se acostumbra a escribirlo en sus publicaciones. Se sugiere adoptar una forma para toda la vida, que sea breve. Ejemplo: Roberto Núñez E., J. H. Miranda P. o R. Ferrera-Cerrato. Esto ayuda a no crear confusión y a identificar fácilmente a los autores. 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 y se centrarán en la página. Se escribirán cuatro espacios debajo del título en inglés y centrados respecto de los márgenes.

Institución(es) patrocinante(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. Ejemplo: Centro de Edafología, Colegio de Postgraduados, Chapingo, Méx. o Departamento de Suelos, UACH, Chapingo, México. Esta identificación se escribirá con minúsculas, excepto las siglas, dos espacios sencillos debajo de los autores.

Pie de páginas. Se podrán utilizar, cuando sea necesario, para identificar información adicional; se numerarán correlativamente a través de todo el texto. Deberán emplearse al mínimo y sólo cuando sea imprescindible.

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

Título de primer orden. Es el título principal del artículo y siempre se escribe con mayúsculas, al inicio del artículo, centrado respecto de los márgenes.

Títulos de segundo orden. A este tipo corresponden las diferentes partes del artículo: Resumen, Summary, Introducción, etc. Se escriben con minúsculas, excepto las primeras letras de cada palabra. Se ubican tres espacios simples abajo del último renglón escrito. El texto que le sigue se comenzará a escribir dos espacios simples después del título.

Títulos de tercer orden. Se escriben al margen izquierdo, con minúsculas, excepto la primera letra de las palabras. Se subrayan. Se ubican dos espacios sencillos bajo el último escrito. El texto comienza a escribirse dos espacios sencillos después del título.

Títulos de cuarto orden. Se escriben al margen izquierdo con minúsculas, excepto la primera letra. Van subrayados y con punto final sin dejar sangría, como en el presente párrafo. Si hubiera necesidad de título de mayor orden, se seguirán las normas recién indicadas, pero éstos se colocarán con una sangría de cinco espacios contados a partir del margen izquierdo, para el de quinto orden, y mayor, para el de sexto orden.

Resumen. Esta sección debe sintetizar, en no más de 250-300 palabras, los aspectos más importantes del trabajo, esto es, su motivación, importancia, método experimental (cuando corresponda) y las conclusiones más importantes. Se titula con un título de segundo orden.

Palabras claves. Dos espacios sencillos abajo del texto anterior se colocan al margen izquierdo y con minúsculas: Palabras claves, seguido de dos puntos, y a continuación las palabras que el autor considere clave para su trabajo, las que deberán ser distintas a las empleadas en el título.

Summary. Se siguen las mismas normas que para el Resumen en español. Esta sección es básica para darle difusión internacional a la revista. Se titula también con segundo orden.

Index words. Se seguirán las instrucciones dadas para Palabras claves, pero estas últimas se colocarán en inglés.

Introducción. En esta sección se indica la motivación, la importancia y los objetivos del trabajo que llevan implícito las hipótesis del trabajo. Contienen, además, los aspectos más relevantes del tema, tratados por otros autores e identificados en la Revisión de Literatura. La Introducción no debe exceder de tres cuartillas a doble espacio. Se titula con segundo orden.

Materiales y Métodos. Esta sección debe describir las características relevantes de los materiales usados en el estudio y los métodos experimentales empleados. A la descripción del método experimental utilizado para lograr los objetivos planteados se le debe dar particular importancia. Debe mostrar concordancia plena con las hipótesis. Así por ejemplo, si el propósito de un trabajo es determinar el efecto de la adición de estiércol vacuno en la mineralización del nitrógeno del suelo, deberá describirse el experimento que permitió medir este efecto. Los revisores tendrán muy en cuenta la concordancia entre objetivos planteados y los métodos experimentales empleados. Se titula con segundo orden.

Resultados y Discusión. Bajo este título se incluyen los resultados obtenidos en la investigación. Estos se presentarán en forma de Cuadros, Figuras, Fotografías, etc., y no deberán duplicar la información que se da en el texto. La información presentada en Cuadros y Figuras tampoco deberá duplicarse, así como incluir resultados que puedan ser fácilmente calculables. Ejemplo: presentar en una columna el rendimiento en g/m² y en otra en kg/ha. En la Discusión se harán resaltar los principios más importantes y las relaciones causa-efecto derivados del análisis de los resultados. Además, deberá explicar, en función de las observaciones hechas, el por qué de lo observado. Los resultados obtenidos se compararán con los de otros investigadores, señalando las divergencias y las semejanzas. Los Resultados y la Discusión deben tener los mismos subtítulos, si es que los hay, de la sección de Materiales y Métodos. Se titula con segundo orden.

Conclusiones. Las primeras conclusiones que se presentan deben ser aquellas correspondientes a los objetivos planteados. Se pueden incluir, además, otras conclusiones relevantes y recomendaciones que emanen del trabajo. Se titula con segundo orden.

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: (a) se citará el apellido principal del 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; (b) las citas, cuando más de una, se colocarán en orden alfabético; (c) cuando el nombre del autor(es) 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 ...; (d) 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); (e) cuando el autor tiene más de una publicación en un año se adiciona a éste a, b, c; ejemplo: (Moreno, 1984a) o (Moreno, 1984b) según sea el caso; (f) las comunicaciones personales se citarán sólo en el texto; ejemplo: (R. Núñez E., 1984. Comunicación personal); (g) las citas que no aparezcan en la Literatura Citada, por ser documentos de circulación restringida y no sean comunicaciones personales, se colocarán con pie de página, siguiendo la numeración correlativa correspondiente.

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

(1) Caso de artículos en revistas seriadas; ejemplo:

NÚÑEZ E., R., A. TRINIDAD S., J. J. MARTÍNEZ H. 1984. Efecto de 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. Los portugueses y brasileños acostumbra colocar el apellido paterno en segundo lugar y éste es el que se debe citar; ejemplo: Antonio Amaro Filho, es Filho, A. A. o A. A. Filho según sea el primer autor o acompañante. Para el caso de los nombres árabes, orientales e hindúes se deberá consultar una guía para citas bibliográficas, como la del Council of Biological Editors o las normas del IICA para citas bibliográficas.

(2) Caso de artículos en una publicación colectiva no periódica con o sin editor; ejemplo:

(i) 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, Méx.

(ii) sin editor

CORTES F., J. I. 1984. El manejo de los frutales en zonas frías, pp. 181-192. In: La fruta y su perspectiva en México. CONAFRUT, SARH, 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. Colegio de Postgraduados, Chapingo, México. (Tesis de Maestría).

La lista de citas se confeccionará en orden alfabético. 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 tener para la elaboración de las figuras, cuadros, mapas, etc. Los cuadros y las figuras se emplean para reemplazar al texto, cuando el contenido de éstos no puede expresarse claramente con palabras o su uso contribuya 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 aquellos que se emplearán para hacer énfasis en algún aspecto o que expliquen otros. Los datos deben ordenarse en una forma tal que sean fácil de interpretar.

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

Los cuadros deben tener tres líneas horizontales sólidas: al inicio del cuadro, al inicio del campo del cuadro, y al final de éste. No se permitirá el uso de líneas verticales.

El encabezamiento del cuadro dará entrada a las columnas y a las líneas. Las unidades correspondientes a las columnas irán en el campo del cuadro, no en el encabezamiento. El campo y el encabezamiento de las columnas se pueden dividir a conveniencia del autor.

Los encabezamientos de columnas y líneas se describirán con minúsculas, excepto la primera letra de la primera palabra.

Se empleará sólo el número de cifras significativas necesarias para destacar el punto que se desea. No tiene sentido hablar de 4,314.3 kg de maíz, probablemente 4.3 ó 4.31 ton/ha es suficiente.

Los cuadros no podrán ser mayores de una página tamaño carta, considerando los márgenes antes dichos.

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 de tamaño lo suficiente grande, como para que puedan leerse al ser reducidos, al igual que el grosor de los ejes y líneas interiores. Para un gráfico del tamaño de una página carta se requieren letras y números de 0.8 a 1.0 cm de altura. Recuerde que 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 dimensionar los ejes se deben escoger módulos 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 cuando sea necesario al final del texto, esto es, después de las Conclusiones y antes de la Literatura Citada.

DIVISION III

Eficiencia en el uso del agua en tres genotipos de maíz bajo temporal.

MIGUEL A. PERALES DE LA CRUZ y
ALFONSO SERNA PEREZ 211

La fijación de N_2 en frijol en ambientes restringidos de humedad.

J.Z. CASTELLANOS y
J.J. PEÑA-CABRIALES 220

Papel de la endomicorriza V-A en la transferencia de exudados radicales entre frijol y maíz sembrados en asociación bajo condiciones de campo.

R.A. GUZMAN-PLAZOLA,
R. FERRERA-CERRATO y
G.J. BETHLENFALVAY 236

Relación entre la edofauna y el sistema de reforestación en la zona tepetatosa "Mario Avila", Chapingo, México.

R.E. GARCIA-PEREZ,
F. RODRIGUEZ N. y
E. BRIGIDA B. 249

La ecuación universal de pérdidas de suelo en la cuenca del río Texcoco.

HECTOR MANUEL ARIAS ROJO y
BENJAMIN FIGUEROA SANDOVAL 257

Respuesta del maíz al encalado de suelos del valle de Atlaçomulco, México.

JORGE ALVARADO LOPEZ y
LENOM J. CAJUSTE 262