



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

# TERRA

Volumen 12

Julio-Septiembre de 1994

Número 3

DIVISION I

INDICE

DIVISION II

**C**aracterización hidrológica de una cuenca de  
pastizal con pastoreo continuo.  
M.A. VELASQUEZ VALLE y  
A. SERNA PEREZ 273

**A**nonio y carbonato de calcio para la  
substitución parcial de nitrato en  
condiciones hidropónicas en trigo.  
MANUEL SANDOVAL VILLA,  
JUAN L. TIRADO TORRES,  
GUSTAVO A. BACA CASTILLO y  
J. ANTONIOSANTIZO RINCON 282

Simulación del coeficiente de cultivo con  
base en unidades térmicas.  
MARCO A. INZUNZA I. y  
FRANCISCO MOJARRO D. 289

Captación y conservación *in situ* de agua de  
lluvia en maíz de temporal del valle de  
Apatzingán, Mich. retrospectiva a tres años.  
LUIS MARIO TAPIA VARGAS,  
F. CABALLERO HERNANDEZ y  
J.J. ALCANTAR ROCILLO 297

Adelanto de la cosecha de mango "Haden"  
mediante manejo de agua en el Valle de Apatzingán,  
Mich.  
LUIS MARIO TAPIA VARGAS y  
ADRIAN VEGA PIÑAS 304

Comparación entre días, unidades calor y la  
evapotranspiración potencial en la predicción de  
eventos fenológicos en el algodónero.  
CLAUDIO GODOY AVILA e  
ISIDRO REYES JUAREZ 311

Desasimilación de fósforo en trece colectas  
mexicanas de *Azolla*.  
ANDRESORTIZ-CATON,  
ROBERTO QUINTERO LIZAOLA y  
RONALD FERRERA-CERRATO 317

Efecto de la endomicorriza vesiculo-  
arbuscular en la fijación biológica de nitrógeno  
en frijol aplicando diferentes niveles de fósforo.  
V. OLALDE-PORTUGAL,  
J. FRIAS H.,  
L.I. AGUILERA G.,  
MA. DE J. ALVARADO B. 323



COMISION EDITORA

DR. JORGE D. ETCHEVERS B.,  
Editor en jefe  
DR. JAVIER Z. CASTELLANOS,  
Editor adjunto  
DR. ANDRES AGUILAR SANTELISES,  
Editor técnico  
DRA. KLAUDIA OLESCHKO,  
Editor técnico  
DR. JUAN JOSE PEÑA CABRIALES,  
Editor técnico  
M.C. JORGE ALVARADO LOPEZ,  
Editor de estilo

EDITORES ASOCIADOS NACIONALES

DR. NICOLAS AGUILERA HERRERA, México  
DR. GABRIEL ALCANTAR GONZALEZ, México  
DR. MANUEL ANAYA GARDUNO, México  
DR. JESUS CABALLERO MELLADO, México  
DR. LENOM J. CAJUSTE, México  
DR. RONALD FERRERA CERRATO, México  
DR. BENJAMIN FIGUEROA SANDOVAL, México  
M.C. MARGARITA E. GUTIERREZ RUIZ, México  
DR. REGGIE J. LAIRD, México  
DR. ANGEL MARTINEZ GARZA, México  
DR. ROBERTO NUÑEZ ESCOBAR, México  
DR. JOSE LUIS OROPEZA MOTA, México  
M.C. CARLOS ORTIZ SOLORIO, México  
DR. ALEJANDRO VELAZQUEZ MARTINEZ, México  
DR. ENRIQUE PALACIOS VELEZ, México  
DR. OSCAR L. PALACIOS VELEZ, México  
DR. BENJAMIN V. PEÑA OLVERA, México  
DR. ANTONIO TURRENT FERNANDEZ, México

EDITORES ASOCIADOS INTERNACIONALES

DR. EDUARDO BESOAIN M., Chile  
DR. WINFRIED E.H. BLUM, Austria  
DR. ELMER BORNEMISZA, Costa Rica  
DR. LUIS ALFREDO DE LEON, Colombia  
DR. HARI ESWARAN, USA  
DR. ANTHONY FISCHER, Australia  
DR. JUAN F. GALLARDO LANCHO, España  
DR. RENATO GREZ Z., Chile  
DR. ALBERTO HERNANDEZ, Cuba  
DR. JOSE M. HERNANDEZ MORENO, España  
DR. ERIC S. JENSEN, Dinamarca  
DR. WALTER LUZIO LEIGHTON, Chile  
DR. JOHN T. MORAGHAN, USA  
DR. HECTOR J. M. MORRAS, Argentina  
DR. CHRISTIAN PRAT, Francia  
DR. PARKER F. PRATT, USA  
DR. PAUL QUANTIN, Francia  
DR. JOSE RODRIGUEZ, Chile  
DR. CARLOS ROQUERO, España  
DR. KARL STARK, Alemania  
DR. RAFAEL VILLEGAS, Cuba  
DR. EDUARDO ZAFFARONI, Brasil

CUERPO EDITORIAL ADMINISTRATIVO

M.C. ROBERTO QUINTERO LIZAOLA,  
Distribución  
SRA. CARELINA C. AALMERS DE AGUILAR,  
Administración  
SRA. MARCELINA ESPEJEL E.,  
Producción

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

Volúmen 12-3, julio-septiembre 1994.

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.

INDICE

EDITORIAL

ARTICULOS CIENTIFICOS

División I: Diagnóstico, Metodología y Evaluación del  
Recurso Suelo

Caracterización hidrológica de una cuenca de  
pastizal con pastoreo continuo. M.A. VELASQUEZ  
VALLE y A. SERNA PEREZ. . . . . 273

División II: Relación Suelo-Clima-Biota

Amonio y carbonato de calcio para la substitución  
parcial de nitrato en condiciones hidropónicas en  
trigo. MANUEL SANDOVAL VILLA, JUAN L.  
TIRADO TORRES, GUSTAVO A. BACA CASTILLO y  
J. ANTONIO SANTIZO RINCON. . . . . 282

Simulación del coeficiente de cultivo con base en  
unidades térmicas. MARCO A. INZUNZA I. y  
FRANCISCO MOJARRO D. . . . . 289

Captación y conservación *in situ* de agua de lluvia  
en maíz de temporal del valle de Apatzingán, Mich.  
Retrospectiva a tres años. LUIS MARIO TAPIA  
VARGAS, F. CABALLERO HERNANDEZ y  
J.J. ALCANTAR ROCILLO. . . . . 297

Adelanto de la cosecha de mango "Haden" mediante  
manejo de agua en el valle de Apatzingán, Mich. LUIS  
MARIO TAPIA VARGAS, ADRIAN VEGA  
PIÑA. . . . . 304

Comparación entre días, unidades calor y la  
evapotranspiración potencial en la predicción de  
eventos fenológicos en el algodónero. CLAUDIO  
GODOY AVILA e ISIDRO REYES JUAREZ. . . . . 311

Desasimilación de fósforo en trece colectas  
mexicanas de *Azolla*. ANDRES ORTIZ-CATON,  
ROBERTO QUINTERO LIZAOLA y RONALD  
FERRERA-CERRATO. . . . . 317

Efecto de la endomicorriza vesículo-arbuscular en  
la fijación biológica de nitrógeno en frijol aplicando  
diferentes niveles de fósforo. V. OLALDE-  
PORTUGAL, J. FRIAS H., L.I. AGUILERA G.,  
MA. DE J. ALVARADO B. . . . . 323

Efecto de la germinación de diferentes leguminosas  
en la sobrevivencia de *Rhizobium*. MA. DE LAS  
NIEVES RODRIGUEZ MENDOZA y RONALD  
FERRERA-CERRATO. . . . . 329

Interacción de la micorriza V-A y la fertilización  
fosfatada en diferentes portainjertos de cítricos. MA.  
DEL CARMEN GONZALEZ CHAVEZ y RONALD  
FERRERA-CERRATO. . . . . 338

Eficiencia y pérdidas vía desnitrificación de  
fertilizantes nitrogenados aplicados a sorgo  
cultivado en un Vertisol. GUILLERMO VAZQUEZ  
NAVARRO, JUAN MANUEL DE LA FUENTE  
MARTINEZ y JUAN JOSE PEÑA CABRIALES. . . . . 345

División III: Aprovechamiento del Recurso Suelo

Algunos aspectos del factor humano sobre la erosión  
del suelo. Estudio de caso en Coatlinchán, México.  
ANTONIO BECERRA M., JORGE L. TOVAR  
SALINAS S., MARCELA ORTIZ S. y  
ENRIQUE OJEDA T. . . . . 354

Efecto de la fertilización potásica al suelo sobre  
la producción del manzano (*Malus pumila* Mill). JESUS  
PILAR AMADO ALVAREZ. . . . . 362



EDITORIAL BOARD

DR. JORGE D. ETCHEVERS B.,  
Editor-in-chief  
DR. JAVIER Z. CASTELLANOS,  
Associate editor  
DR. ANDRES AGUILAR SANTELISES,  
Technical editor  
DRA. KLAUDIA OLESCHKO,  
Technical editor  
DR. JUAN JOSE PEÑA CABRIALES,  
Technical editor  
M.C. JORGE ALVARADO LOPEZ,  
Style editor

NATIONAL ASSOCIATE EDITORS

DR. NICOLAS AGUILERA HERRERA, Mexico  
DR. GABRIEL ALCANTAR GONZALEZ, Mexico  
DR. MANUEL ANAYA GARDUNO, Mexico  
DR. JESUS CABALLERO MELLADO, Mexico  
DR. LENOM J. CAJUSTE, Mexico  
DR. RONALD FERRERA CERRATO, Mexico  
DR. BENJAMIN FIGUEROA SANDOVAL, Mexico  
M.C. MARGARITA E. GUTIERREZ RUIZ, Mexico  
DR. REGGIE J. LAIRD, Mexico  
DR. ANGEL MARTINEZ GARZA, Mexico  
DR. ROBERTO NUNEZ ESCOBAR, Mexico  
DR. JOSE LUIS OROPEZA MOTA, Mexico  
M.C. CARLOS ORTIZ SOLORIO, Mexico  
DR. ALEJANDRO VELAZQUEZ MARTINEZ, Mexico  
DR. ENRIQUE PALACIOS VELEZ, Mexico  
DR. OSCAR L. PALACIOS VELEZ, Mexico  
DR. BENJAMIN V. PEÑA OLYERA, Mexico  
DR. ANTONIO TURRENT FERNANDEZ, Mexico

INTERNATIONAL ASSOCIATE EDITORS

DR. EDUARDO BESOAIN M., Chile  
DR. WINFRIED E.H. BLUM, Austria  
DR. ELMER BORNEMISZA, Costa Rica  
DR. LUIS ALFREDO DE LEON, Colombia  
DR. HARI ESWARAN, USA  
DR. ANTHONY FISCHER, Australia  
DR. JUAN F. GALLARDO LANCHO, Spain  
DR. RENATO GREZ Z., Chile  
DR. ALBERTO HERNANDEZ, Cuba  
DR. JOSE M. HERNANDEZ MORENO, Spain  
DR. ERIC S. JENSEN, Denmark  
DR. WALTER LUZIO LEIGHTON, Chile  
DR. JOHN T. MORAGHAN, USA  
DR. HECTOR J. M. MORRAS, Argentina  
DR. CHRISTIAN PRAT, France  
DR. PARKER F. PRATT, USA  
DR. PAUL QUANTIN, France  
DR. JOSE RODRIGUEZ, Chile  
DR. CARLOS ROQUERO, Spain  
DR. KARL STARK, Germany  
DR. RAFAEL VILLEGAS, Cuba  
DR. EDUARDO ZAFFARONI, Brazil

EDITORIAL STAFF

M.C. ROBERTO QUINTERO LIZAOLA,  
Distribution  
SRA. CARELINA C. AALMERS DE AGUILAR,  
Management  
SRA. MARCELINA ESPEJEL E.,  
Production

"TERRA", Registration pending. Scientific  
publication of the Mexican Society of Soil Science.

Volume 12-3, July-September 1994.

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.

INDEX

Division I: Diagnosis Methodology and Evaluation of the  
Soil Resource

Hydrologic characterization of a rangeland  
watershed with continuous grazing. M.A. VELASQUEZ  
VALLE, and A. SERNA PEREZ. . . . . 273

Division II: Soil-Climote-Biota Relationship

Ammonium and calcium carbonate to partial  
substitution of nitrate under hydroponic conditions in  
wheat. MANUEL SANDOVAL VILLA, JUAN L.  
TIRADO TORRES, GUSTAVO A. BACA  
CASTILLO, and J. ANTONIO SANTIZORINCON. . . . . 282

Evapotranspiration crop coefficient simulation  
based on growing-degree-days. MARCO A.  
INZUNZA I., and FRANCISCO MOJARRO. . . . . 289

Captation and conservation *in situ* of rainfall in  
corn of the valley of Apatzingan, Mich. Three years  
retrospective. LUIS MARIO TAPIA VARGAS,  
F. CABALLERO HERNANDEZ, and J.J. ALCANTAR  
ROCILLO. . . . . 297

Earlier production of "Haden" mango through water  
management in the valley of Apatzingan, Mich.  
LUIS MARIO TAPIA VARGAS, and ADRIAN  
VEGA PIÑA. . . . . 304

Comparison between days, growing degree days and  
potential evapotranspiration in the phenological  
stages in cotton. CLAUDIO GODOY AVILA, and  
ISIDRO REYES JUAREZ. . . . . 311

Phosphorus disassimilation in 13 mexican  
collections of *Azolla*. ANDRES ORTIZ-CATON,  
ROBERTO QUINTERO LIZAOLA, and RONALD  
FERRERA-CERRATO. . . . . 317

Effect of the V-A mycorrhiza in the bean nitrogen  
fixation with different phosphorus levels. V.  
OLALDE PORTUGAL, J. FRIASH., L.I. AGUILERA  
G., and MA. DE J. ALVARADO B. . . . . 323

Effect of some legumes germination on *Rhizobium*  
survival. MA. DE LAS NIEVES RODRIGUEZ  
MENDOZA, and RONALD FERRERA-CERRATO. . . . . 329

Interaction of VA mycorrhiza and phosphate  
fertilization among citrus rootstocks. MA. DEL  
CARMEN GONZALEZ-CHAVEZ, and RONALD  
FERRERA-CERRATO. . . . . 338

Efficiency and denitrification losses of different  
nitrogen sources for sorghum grown in a Vertisol.  
GUILLERMO VAZQUEZ NAVARRO, JUAN  
MANUEL DE LA FUENTE MARTINEZ, and JUAN  
JOSE PEÑA CABRIALES. . . . . 345

Division III: Use of the Soil Resource

Some aspects of the human factor on soil erosion.  
The Coatlinchan, Mexico case study. ANTONIO  
BECERRA M., JORGE L. TOVAR SALINAS  
S., MARCELA ORTIZ S., and ENRIQUE  
OJEDA T. . . . . 354

Effect of the soil applied potassium fertilization  
on the production of apple (*Malus pumilla* Mill).  
JESUS PILAR AMADO ALVAREZ. . . . . 362



## EDITORIAL

Jorge D. Etchevers Barra  
Editor

En los meses recientes se han llevado a cabo dos reuniones de carácter mundial que marcan un hito para la proyección de la ciencia del suelo y la agronomía en el siglo XXI: el XV Congreso Mundial de la Ciencia del Suelo, en Acapulco, México, y el Primer Congreso Mundial de los Profesionales de la Agronomía, en Santiago de Chile. Por la importancia que esta revista concede a las declaraciones de ambas reuniones, las reproducimos *in extenso* para nuestros lectores, en los idiomas en que estas fueron elaboradas. Las aprehensiones y preocupaciones expresadas en ambos documentos han trascendido el nivel científico y profesional.

En una tercera reunión, de carácter local, se trató el tema de la sustentabilidad y la conservación del recurso suelo. Más de 1000

productores y técnicos del cono sur de América, convocados por la Asociación Argentina de Productores de Siembra Directa en Córdoba, Argentina, emitieron una declaración que refleja el grado de conciencia sobre el tema de la agricultura sostenible que han alcanzado algunos productores de esa región. Esta declaración, a mi juicio, es pionera y señala la importancia que tiene para los investigadores y generadores de tecnología, incorporar a todos los actores del proceso en sus actividades futuras. Los productores fueron explícitos en mencionar que no pueden permanecer pasivos frente a los problemas de la alimentación y la sustentabilidad de la agricultura. Los técnicos y científicos no podemos quedarnos atrás en la percepción y soluciones que requiere la problemática anterior. También reproducimos aquí la declaración final de este congreso.

### DECLARATION ADOPTED AT THE 15th WORLD CONGRESS OF SOIL SCIENCE, ACAPULCO, MEXICO, 10-16 JULY 1994

Soil science has a crucial role to play in realizing sustainable land use systems that satisfy the needs of an ever more global society. Activities in soil science research are broadening considerably beyond the traditional ones and include fundamental studies, ecosystem research and technology applications. Field work should continue to play an important role in generating research hypotheses and in their testing.

The following activities are proposed:

1. Agenda 21, accepted in Rio de Janeiro 1992 offers a real challenge for soil scientists to provide their unique expertise to research teams including many other disciplines, such as agronomy, ecology, engineering, biology, economics, and sociology. Global environmental issues imply the need for basic disciplinary soil science research in such areas as soil

morphology, soil physics, soil chemistry, and soil biology. Research on complex global environmental issues requires, in addition, a holistic interdisciplinary approach that is dynamic and process-oriented.

#### Recommendations:

- a) Encourage soil scientists to participate in global environmental programmes such as the International Geosphere-Biosphere Programme (IGBP) with the objective to develop a better understanding of the role of soils in the exchange of water, heat and gases between atmospheric and aquatic environments.
- b) Restructuring of the International Society of Soil Science (ISSS) in a number of appropriate divisions. Establishment of a new Division on Soil and the Environment.



2. The prevalent focus in soil science on agricultural production needs to be broadened to emphasize food security and ecological processes in natural and anthropogenic land use systems, including the urban environment.

**Recommendation:**

Multiple-use strategies need to be developed as options for land users and decision makers through enhanced activities in working groups and subcommittees (action Congress in 16th World Congress of Soil Science, Montpellier, France, August 1998).

3. Soil behaviour and risk assessment for actual and potential types of land use need to be characterized with quantitative methods to allow development of operational methods to prevent different forms of soil degradation. Such a pro-active research approach, requiring collaboration with land users and engineers, is most effective to obtain results. Soil characterization and formulation of land use options are ineffective when not implemented.
4. Increased emphasis on the relationships between soil processes and water quality is required. In contrast to air and water quality, soil quality is as yet poorly defined and this presents a barrier to proper consideration of the role of soils in ecological processes.

**Recommendation:**

Strive for definition of soil quality as a function of soil use and the establishment of soil quality as a key indicator in environmental science.

5. Research is necessary on the rate of soil formation, as influenced by human impact, because this often unknown rate is an important factor in the analysis of sustainability.
6. Many applications are now opening up for the use of genetically modified organisms in the soil. Concern about the risks of

intentional release or accidental escape will grow.

**Recommendation:**

A careful watch needs to be kept for detrimental organisms becoming established in the soil, and research on this should be encouraged.

7. Attention should be paid to the needs of soil scientists from developing countries and to effective interaction among all soil scientists.

**Recommendation:**

Development of joint projects, refresher courses, operational research methodologies and appropriate venues for information dissemination.

8. Communication with users of soil science expertise and products requires strong improvement because generally there is a narrow perception of soil science as a restricted discipline lacking dynamic interaction with other sciences. Modern communication and information technology needs to be applied to enhance interaction with such users as farmers, extension workers, planners, regulatory agencies, citizens-at-large and decision makers. Student curricula, from the earliest school years onward, should be revised to reflect increased appreciation of the role of soil science as a part of our global environment that is as important as are air and water.

**Recommendations:**

- a) Further development of the established Task Force on Education.
- b) Organize symposia with direct user involvement.
- c) Increased ISSS activity, through press releases, working group publicity and position statements to draw attention to soil sciences' central role in ecosystem research.



**DECLARACION DE SANTIAGO  
PRIMER CONGRESO MUNDIAL DE PROFESIONALES DE LA AGRONOMIA  
8 DE SEPTIEMBRE DE 1994**

En Santiago, a 8 de septiembre, se han reunido más de 900 Profesionales de la Agronomía con delegados de 52 países, representantes de todos los Continentes, organizados en múltiples Asociaciones y Colegios de Profesionales, declaran:

1. La Agricultura es el principal sustento de la humanidad y suple las necesidades de ella, con el apoyo de las Ciencias Agronómicas, que son la herramienta del progreso.
2. Es un hecho que no siempre la agricultura ha ocupado el sitio que le corresponde en el concierto de las actividades productivas, por lo tanto, la mayor decisión de la profesión agronómica es reivindicar la actividad agropecuaria.
3. Este Congreso solicita de los Gobiernos la formulación de políticas cuya estabilidad induzca a la inversión en las últimas tecnologías, que administran la profesión, como una manera de crear nuevas fuentes de trabajo en todo el sector del agro.
4. Solicita también de los Gobiernos el apoyo irrestricto a la actividad creadora de las ciencias agrícolas. Considerando a éstas, no sólo en su capacidad productora de bienes materiales sino, especialmente en lo relativo a la educación superior agronómica.
5. Expresa el deseo de la profesión agronómica, que la conjunción de las actividades en que ella actúa, sirva al desarrollo social de los pueblos proveyendo niveles crecientes de bienestar general.

**ACUERDAN:**

Hacer suyo los planteamientos de este Congreso afinados en sus deliberaciones y aceptados como base de acción gremial.

**EN CUANTO A:**

- Recursos Naturales y Medio Ambiente
- Investigación y Transferencia Tecnológica
- Educación Superior Agronómica
- Comercio Internacional

**REFERENTE A RECURSOS NATURALES Y MEDIO AMBIENTE:**

Alertamos a los Gobiernos sobre la necesidad de - apoyado en las ciencias agronómicas - arbitrar las medidas conducentes a asegurar el desarrollo sustentable. Toda vez, que esto asegure el bienestar de las generaciones futuras.

**EN CUANTO A LA INVESTIGACION Y TRANSFERENCIA TECNOLÓGICA:**

La investigación científica entrega elementos a la profesión para que la naturaleza proporcione sus frutos sin desmedro del medio ambiente. Ella asegura así la supervivencia de la humanidad y por lo tanto debe ser incrementada.

El Congreso declara a la investigación y a la transferencia de tecnología herramientas fundamentales para el desarrollo del sector, y por lo tanto, insta a los Gobiernos a otorgar el más amplio apoyo a su gestión. Al respecto solicita que los países desarrollados, hagan entrega a la comunidad internacional de mayores recursos científicos, en aras del desarrollo complejo de la agricultura.

**CON RELACION A LA EDUCACION SUPERIOR:**

Hace presente que dado el vertiginoso desenvolvimiento de las ciencias, la formación profesional requiere también progresivamente de apoyo, en especial del proveniente de los países más adelantados.

Es en la educación superior donde se obtienen los más altos rendimientos de las inversiones que en ella se hagan. Por lo tanto, es indispensable la cooperación de gobiernos y entidades internacionales.

Que las universidades correspondientes a sectores geográficos afines, intensifiquen el intercambio académico, a fin de lograr superación individual y una mutua comprensión hacia los requerimientos nacionales.



## EN CUANTO A COMERCIO INTERNACIONAL:

El Congreso solicita de los Gobiernos interesados, consideren la opinión de la profesión agronómica como elemento indispensable en la formulación de los convenios de intercambio comercial. Toda vez, que en ello van involucrados aspectos estrictamente técnicos, atinentes a la profesión.

Este Congreso, consciente que el mundo enfrenta desafíos que para la profesión son ineludibles declara:

Su firme resolución de colaborar con los respectivos Gobiernos y Organismos bilaterales y multilaterales para que la agricultura cumpla el rol que la humanidad espera de ella.

Se comunica a los Gobiernos de la creación de la Asociación Panamericana de Ingenieros Agrónomos y la Asociación Mundial de Ingenieros Agrónomos y se solicita su colaboración y coordinación para el desarrollo socio económico de nuestra agricultura y nuestros pueblos.

### DECLARACION DEL III CONGRESO ARGENTINO DE SIEMBRA DIRECTA, CORDOBA, ARGENTINA, 2 DE SEPTIEMBRE DE 1994

Nos llena de entusiasmo y alegría encontrarnos con un millar de productores argentinos y procedentes de países vecinos, compenetrados con la producción sustentable, tal cual lo estamos experimentando, durante la realización de este III Congreso Nacional de Siembra Directa.

Sin embargo, no podemos dejar de sentir con suma preocupación que el sistema agrícola actual que abusa de las labores no es viable y sin duda de mantenerse en esta dirección, en un plazo no muy lejano, pondrá al mundo en una verdadera encrucijada con respecto a la posibilidad de una alimentación digna y al alcance de todos sus habitantes.

Por esta razón, creemos que el nivel de conciencia que hemos adquirido nos impide realmente quedar pasivos frente a esta

situación. Consecuentemente nos sentimos obligados a apelar al sentido común y de responsabilidad de los productores, como así también a los encargados de ejecutar las políticas económicas, científicas y agropecuarias, para que realicen todos los esfuerzos posibles, a fines de cambiar los sistemas de producción actualmente vigentes.

Estamos en un momento de definición. Ya no se trata de sólo permitir que se desarrollen sistemas productivos conservacionistas, sino comprender que es un deber ineludible que necesita de un impulso positivo y de compromisos concretos.

Afirmamos, que tienen tanta importancia los equilibrios monetarios y las cuentas fiscales, como los balances de los recursos ambientales y productivos de los cuales depende el futuro de la humanidad.



## CARACTERIZACION HIDROLOGICA DE UNA CUENCA DE PASTIZAL CON PASTOREO CONTINUO

Hydrologic Characterization of a Rangeland Watershed with Continous Grazing

M.A. Velásquez Valle y A. Serna Pérez

SARH-INIFAP-Campo Experimental "LOS CAÑONES"  
Apartado Postal 168, 99600 Jalpa, Zacatecas, México

*Palabras clave:* Precipitación pluvial, Esgurrimiento superficial, Pastizal, Cuenca.

*Index words:* Rainfall, Runoff, Rangeland, Watershed.

### RESUMEN

Utilizando la información disponible de precipitación pluvial (7 años) y de esgurrimiento superficial (5 años), se caracterizó la cuenca pecuaria La Cruz, localizada al sur del estado de Zacatecas. Se consideró solamente la etapa lluviosa (del 20 de junio al 30 de noviembre) de cada año. Para este período un evento de precipitación pluvial se definió cuando la lluvia máxima en 24 h fue mayor a 1.0 mm. Los resultados indican que los meses de julio y agosto presentan el mayor número de eventos lluviosos. Los eventos cuya magnitud fue mayor de 11.0 mm, fueron responsables de más de 60% de la lámina precipitada. En lo que se refiere al esgurrimiento superficial, también los anteriores meses reportaron el mayor número de eventos de esta variable; sin embargo, el mes de septiembre tuvo el más alto coeficiente de esgurrimiento. Por otra parte, se encontró una asociación significativa ( $P > 0.05$ ) entre la lámina esgurrida y la humedad antecedente del suelo ( $r = 0.28$ ).

Recibido 12-92.

### SUMMARY

The available information of rainfall (7 years) and runoff (5 years) was used to characterize the watershed La Cruz, located in the southwest of Zacatecas state. Only the wet season was considered (June 20 to November 30), each year. In this period, a rainfall event was defined by the precipitation in 24 h, and when this quantity exceeded 1.0 mm. The results showed that July and August had more rainstorms. Events larger than 11.0 mm were responsible for over 60% of the total rainfall. The same months had the greater number of runoff events; although, September had the highest runoff coefficient. On the other hand, significant correlation ( $P > 0.05$ ) was found between runoff and previous soil moisture ( $r = 0.28$ ).

### INTRODUCCION

En el Cañón del Juchipila, ubicado en el suroeste del estado de Zacatecas, se presentan características climáticas y fisiográficas que determinan que el principal uso del suelo sea pecuario. De acuerdo con su condición de semiáridos, los sistemas de producción pecuarios dependen de la precipitación pluvial para sus abastecimientos hídricos. La ocurrencia de lluvias torrenciales, la poca profundidad de los suelos, la escasa cobertura basal del suelo y la pendiente pronunciada de los terrenos, facilita que los esgurrimientos



superficiales, la mayor parte de las veces, sean fuertes avenidas (grandes volúmenes por unidad de tiempo y altos gastos máximos), lo que dificulta su control y aprovechamiento.

Aunado a lo anterior, el proceso de erosión hídrica del suelo en los pastizales representa un problema que acelera la desertificación de los sistemas pecuarios de la región.

Ante esta problemática, el manejo del pastizal con un enfoque de uso múltiple es una alternativa adecuada para mejorar la productividad de los sistemas pecuarios. Sin embargo, antes de la implementación de prácticas tendientes a mejorar la condición del pastizal es necesario conocer los elementos del mismo y sus interrelaciones, con el propósito de saber la condición inicial.

Como herramienta de gran valor, sobre todo en hidrología, la utilización de cuencas naturales o áreas de drenaje ha sido importante en investigación para determinar el efecto de prácticas del manejo del pastizal sobre algunos elementos del ciclo hidrológico como: intercepción (Young *et al.*, 1984), evapotranspiración (Arnold y Williams, 1985) e infiltración (Lloyd-Reilly *et al.*, 1984).

El conocimiento del comportamiento de los recursos o elementos de un sistema (en tiempo y espacio) se obtiene mediante una etapa de caracterización.

Para la caracterización hidrológica de una cuenca es necesario el establecimiento de estaciones de medición de los elementos que entran a la cuenca (precipitación pluvial) como de aquéllos que salen (escurrimiento, suelo, nutrimentos, etc.).

Durante esta etapa, la información obtenida es utilizada para evaluar el efecto de los tratamientos implementados en la cuenca (Swindel y Douglass, 1984).

El objetivo del presente trabajo fue el de presentar en una forma descriptiva los resultados de la etapa de caracterización de la cuenca pecuaria "La Cruz", considerando factores de precipitación pluvial y escurrimiento superficial.

Las aportaciones principales de este estudio están enfocadas a su utilidad en la planeación del uso del recurso e inclusive en investigación.

## MATERIALES Y METODOS

El trabajo se realizó en la cuenca pecuaria "La Cruz" (CPLC), la cual se encuentra ubicada en el municipio de Tabasco, Zacatecas. La cuenca está localizada entre los 102°59' y los 103°09' longitud oeste y entre los 21°51' y los 21°52' latitud norte. La altitud de la cuenca es de 1700 m (Figura 1).

La vegetación de la cuenca es matorral subinermé, con pastizal natural (CETENAL, 1974). El estrato arbóreo está dominado por especies como: ozote (*Ipomea intrapilosa rose*) y mezquite (*Prosopis sp.*). El estrato arbustivo está representado por varaduz (*Tysenhardtia sp.*) y huizcolote (*Mimosa sp.*). El estrato basal incluye especies de diferentes zacates entre los que sobresalen: navajita (*Bouteloua hirsuta*), banderita (*B. curtipendula*) y cola de zorra (*Mulenbergia sp.*) (Gutiérrez, 1984).

Las asociaciones de suelos presentes en la cuenca son: Regosol calcárico y Castañozem háplico, según la clasificación de la FAO (CETENAL, 1974), con una fase pedregosa y textura media (Figura 2). El uso del suelo dentro de la cuenca es pecuario en el total del área. La superficie total de la cuenca es 46.8 ha, con una pendiente media de 19.4%.

La precipitación pluvial anual promedio es de 624.0 mm (Estación Huanusco); más de 90% se presenta durante el período de junio a noviembre. La presencia de eventos torrenciales ocasiona que las características de los escurrimientos superficiales sean muy similares a los de las avenidas: efímeras, de grandes volúmenes, de aparición repentina a pocas horas de haberse presentado la tormenta y con una gran cantidad de sedimentos en suspensión, saltación (material gravoso) y rodamiento como fragmentos rocosos y rocas (Velásquez, 1991). El clima de la zona de estudio es semiseco-semicálido (BS<sub>1</sub> hw (w)).

### Precipitación Pluvial

El registro de esta variable en la CPLC se realizó diariamente en la estación climatológica, ubicada en el parteaguas superior de la cuenca. En este trabajo se consideró como evento la lluvia máxima en 24 h y cuando ésta fue mayor a 1.0 mm. La serie histórica de registros analizada comprendió de 1984 a 1990 y solamente el período de la



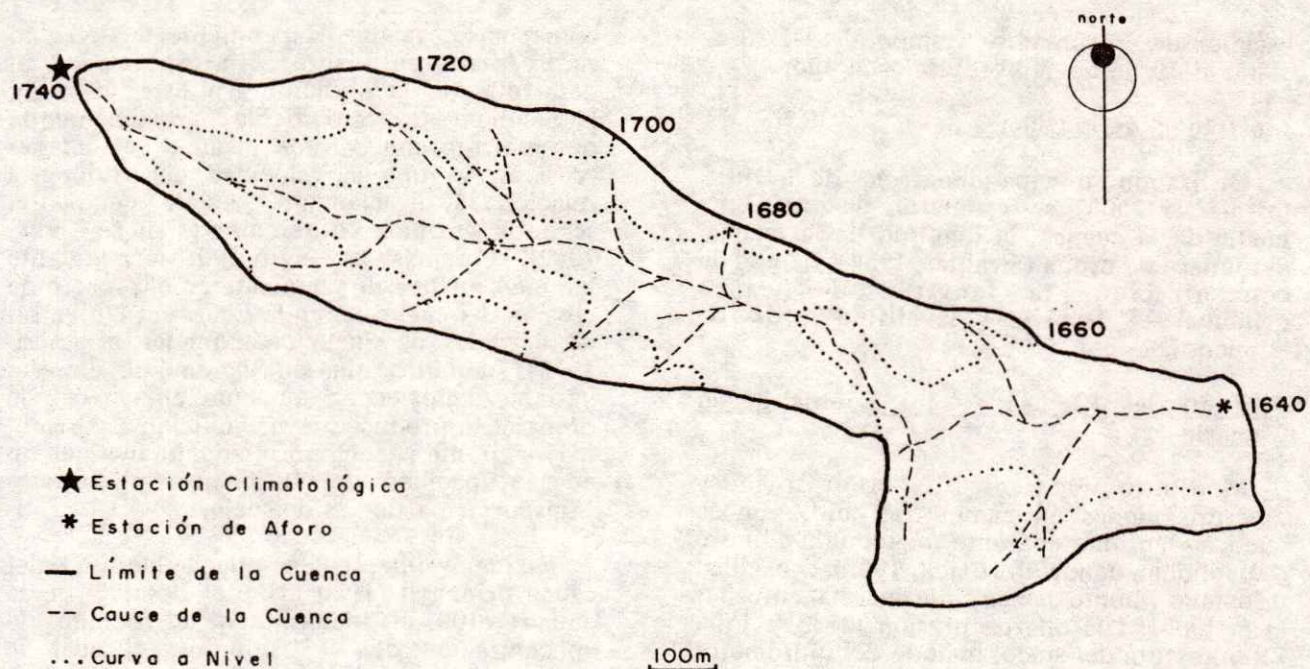


Figura 1. Mapa topográfico de la cuenca de uso pecuaria La Cruz, Tabasco, Zac.

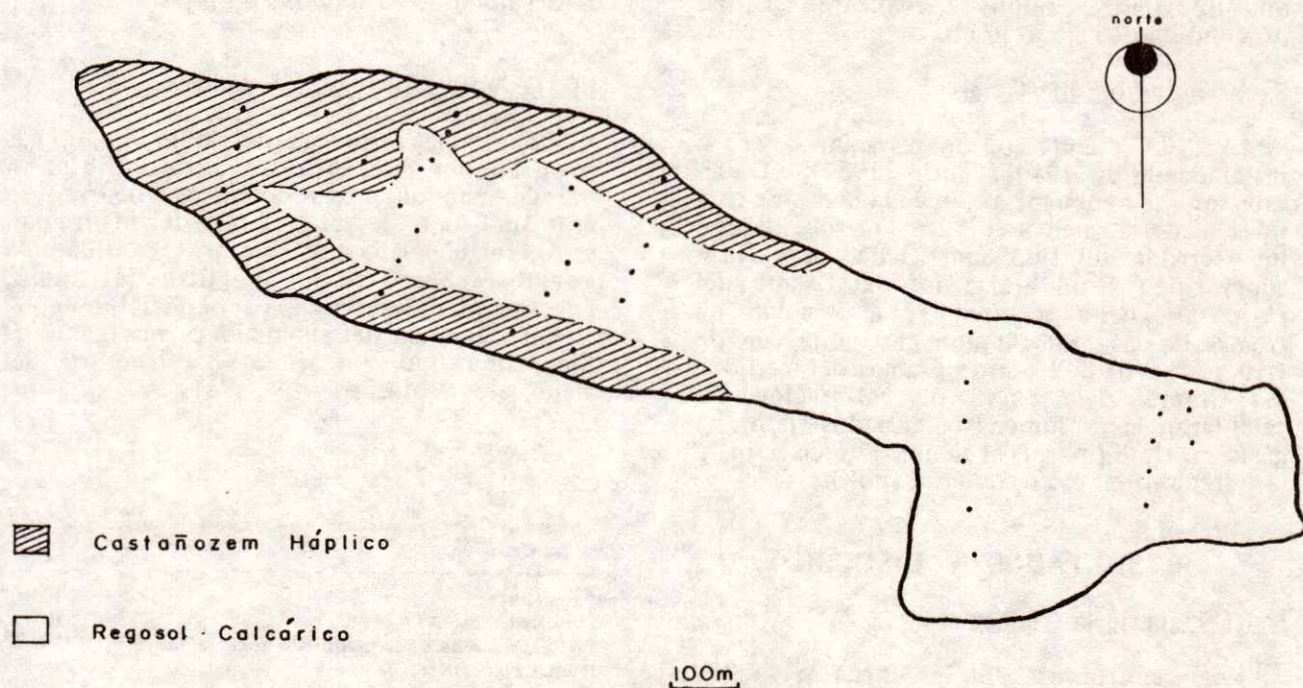


Figura 2. Unidades de suelo y sitios de muestreo de humedad del suelo en la cuenca pecuaria La Cruz, Tabasco, Zac. INIFAP.



estación de crecimiento o temporal (del 20 de junio al 30 de noviembre) de cada año.

### Morfología de la Cuenca

Utilizando un mapa topográfico de la CPLC (escala 1: 2500) se estimaron la pendiente media de la cuenca, la longitud de la misma, el número de orden (Strahler, 1964), tiempo de concentración, la longitud del cauce principal, el desnivel y la altitud media de la cuenca.

### Propiedades Físicas de los Suelos de la Cuenca.

Mediante técnicas de laboratorio y determinaciones en campo, se midió en la cuenca: densidad aparente, método de cilindro del volumen conocido (Black, 1965); capacidad de campo y punto de marchitez permanente, por el método de la olla de presión (a 33 y 1500 kPa); textura del suelo, método del hidrómetro (Bouyoucos, 1962) y contenido de materia orgánica del suelo, por el método de combustión húmeda de Walkley (Richards, 1980). El contenido de humedad del suelo se determinó por el método gravimétrico (Gardner, 1965) y expresado en forma volumétrica; los muestreos en campo se realizaron a una profundidad de 20 a 30 cm.

### Escurrimiento Superficial

La CPLC cuenta con una estación de aforo instalada desde 1984 (Paulin, 1984). Dicha estación se encuentra ubicada en la cota inferior de la cuenca (Figura 1) y cuenta con un vertedor del tipo Santa Rita, para flujo supercrítico y un graficador del tirante del flujo de vuelta semanal. La relación de escalas de las gráficas con el tirante fue de 1:10. A partir de los hidrogramas del medidor del tirante y la curva de calibración, se calcularon los volúmenes escurridos (mm), el gasto máximo ( $m^3/s$ ), el tiempo al pico (min) y la duración del escurrimiento (min).

## RESULTADOS Y DISCUSION

### Morfología de la Cuenca

Los resultados de la caracterización morfológica de la cuenca se presentan en el Cuadro 1. Es importante señalar que el valor de la pendiente media (19.4%) es representativo de áreas donde el uso del suelo

es pecuario, ya que la pendiente del terreno es el principal factor limitante para el desarrollo de la agricultura. Este valor de la pendiente es responsable parcialmente de que el flujo concentrado alcance velocidades erosivas, ya que la velocidad del flujo está relacionada directamente con la pendiente, según la ecuación de Manning (Ven Te Chow, 1982). Además, la longitud de la pendiente también influye directamente en el proceso de erosión del suelo, según la Ecuación Universal de Pérdidas de Suelo (Wischmeier y Smith, 1978), debido a que un incremento en esta variable significa un aumento en el área de drenaje, lo produce mayor volumen escurrido, mayor tirante y, como resultado, un incremento en la capacidad del flujo para remover y transportar partículas de suelo.

Es importante señalar que la longitud del cauce principal (1920 m) y el desnivel de la cuenca (100 m) determinan un tiempo de concentración de 20.7 minutos, el cual se considera normal ya que la forma de la cuenca es bastante alargada. Quintana y Sánchez (1989) han señalado tiempos de concentración de ocho minutos para cuencas de mayor superficie, pero con una forma casi redonda, lo que permite una rápida concentración de los escurrimientos en un sitio de interés.

### Propiedades físicas de los suelos

Como una respuesta del manejo, algunas propiedades físicas del suelo condicionan parcialmente algunos procesos que ocurren en el mismo; por ejemplo, la tasa de infiltración se ve influenciada por una gran cantidad de variables como son: cobertura del suelo, encostramiento de la capa superficial, composición mecánica del suelo, iones intercambiables, humedad antecedente, estructura del suelo, etc. (Branson *et al.*, 1981).

Cuadro 1. Características morfológicas de la cuenca pecuaria La Cruz.

Area (ha)	46.8
Pendiente media (%)	19.4
Longitud media de la pendiente transversal (m)	128.75
Número de orden	3 <sup>a</sup>
Tiempo de concentración (min)	20.74
Longitud del cauce principal (m)	1920
Desnivel de la cuenca (m)	100
Altitud media (metros sobre el nivel del mar)	1700



En el caso particular de la cuenca "La Cruz", como un efecto de la erosión hídrica, la pérdida de suelo *in situ* ocasiona el afloramiento de roca y aumenta el valor de la densidad aparente para los dos tipos de suelo en la cuenca (Cuadro 2). La densidad aparente del suelo en hidrología es importante porque es una propiedad asociada con el proceso de infiltración de agua en el suelo (Rhoades *et al.*, 1964; Warren *et al.*, 1986). Desde un punto de vista de producción de forraje, el afloramiento de rocas en la superficie del suelo reduce un área potencial para la cobertura vegetal.

Con respecto al contenido de materia orgánica en el suelo se puede mencionar que en la parte poniente de la cuenca esta variable presenta un valor más alto, debido a que es un área menos sobrepastoreada, lo que permite una acumulación del mantillo vegetal en la superficie del suelo y posteriormente su descomposición e integración al suelo.

#### Precipitación Pluvial

Con la información disponible en la estación climatológica localizada en la cuenca, se construyó la Figura 3, la cual

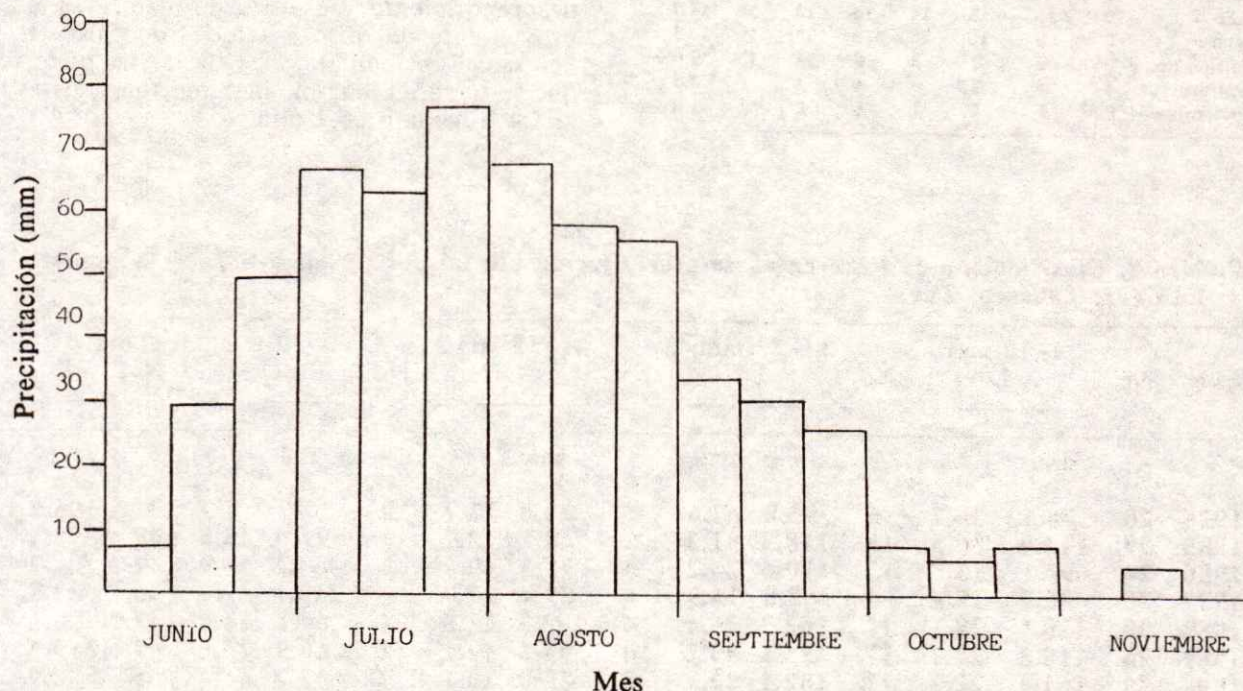


Figura 3. Distribución decenal promedio (7 años) de la precipitación pluvial en la cuenca pecuaria La Cruz, Tabasco, Zac. INIFAP.

Cuadro 2. Características físicas del suelo de la cuenca pecuaria La Cruz, Tabasco, Zac. INIFAP.

Variable	Unidad de Suelo	
	Castañozem haplico	Regosol calcárico
Densidad aparente ( $\text{g cm}^{-3}$ )	1.6	1.5
Capacidad de Campo (33 kPa)	14.9	16.5
Punto de marchites permanente (1500 kPa)	8.0	8.8
Textura		
arena (%)	59.2	59.2
limo (%)	25.6	21.4
arcilla (%)	15.2	19.4
Materia orgánica (%)	3.0	2.7

representa la variación temporal (promedio de 7 años) de la precipitación pluvial por decena, para el periodo del temporal. En esta gráfica se puede observar que julio y agosto son los meses más lluviosos dentro del temporal. Hidrológicamente, esto es importante ya que las precipitaciones ocurridas en estos meses se presentan cuando el suelo aún no se encuentra con la máxima cobertura que la vegetación de ese año le



puede proporcionar; por esta razón el riesgo de pérdida de suelo en estas fechas es mayor.

En el Cuadro 3 se puede observar que los meses en que existe un mayor número de eventos de precipitación pluvial son julio y agosto, principalmente. No existe mucha diferencia entre el número de eventos promedio entre estos dos meses (14.7 y 13.1, respectivamente); sin embargo, si existe una diferencia entre el número de eventos que ocurre entre éstos, al observar una diferencia promedio de 4.8 eventos de 1984 a 1988 a favor del mes de julio; para los dos últimos años, la diferencia promedio en la cantidad de eventos entre julio y agosto fue de 6.5 a favor del último mes.

Por otro lado, considerando el efecto que tiene la magnitud de la tormenta sobre la

respuesta hidrológica de la cuenca (Serna y Velásquez, 1987), se clasificaron los eventos por su magnitud. En el Cuadro 4, se observan dos aspectos importantes respecto a lo señalado al inicio del párrafo: a) más de 60% de la lámina precipitada durante el periodo del temporal, se debió a eventos con una magnitud mayor a 11 mm (lluvia máxima en 24 h), lo que significa que casi en su totalidad este tipo de eventos está en posibilidades de generar escurrimiento superficial (dependiendo de las condiciones de humedad en el suelo de la cuenca). De esta manera es posible predecir que aproximadamente cada año, pueden presentarse un mínimo de 16 eventos que generen escurrimiento superficial en la cuenca pecuaria La Cruz. Lo anterior no es genérico, ya que como antes se mencionó, puede darse el caso de que si las condiciones de humedad antecedente son muy altas ( $0.3 \text{ cm}^3$  de agua/ $\text{cm}^3$  de suelo) una lluvia de 7.0 mm puede generar el escurrimiento superficial. b) De los eventos de más de 11 mm, aquéllos que representan un mayor riesgo para provocar altas tasas de pérdida de suelo son los de 30 mm; ya que se estaría hablando de que al menos dos veces al año se presentan eventos mayores a 40.9 mm como promedio en aquellos años en los que si los hubo de 1985 a 1990 (Cuadro 4). Este tipo de eventos genera escurrimientos de grandes volúmenes que causan desprendimiento y acarreo de material rocoso proveniente del piso y taludes de cárcavas y del cauce principal. De la serie histórica que se tiene, el máximo maximorum registrado en 24 h ha sido 66.7 mm.

Cuadro 3. Número de eventos de precipitación pluvial por mes en la cuenca La Cruz, Tabasco.

Mes	Año							$\bar{X}$
	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990	
Junio	6	9	8	1	6	3	2	5.0
Julio	13	16	15	14	18	12	15	14.7
Agosto	8	10	10	12	12	21	19	13.1
Septiembre	9	9	7	8	6	11	13	9.0
Octubre	4	4	7	0	4	1	7	3.8
Noviembre	0	1	1	1	1	2	1	1.0

Cuadro 4. Clasificación de los eventos de precipitación pluvial por su magnitud, en la cuenca La Cruz, Tabasco, Zac.

Año	No.	1-10 mm		11-20 mm		21-30 mm		> 30 mm		Total				
		No.	L	No.	L	No.	L	No.	L	No.	L			
		mm	%	mm	%	mm	%	mm	%	mm				
1984	20	78.1	39.7	6	93.8	47.6	1	24.8	12.7	0	0.0	0.0	27	196.7
1985	29	114.9	30.3	15	118.3	31.2	2	48.2	12.7	2	97.0	25.8	48	378.4
1986	24	94.1	13.3	12	170.6	24.2	3	75.3	10.6	8	364.2	51.9	47	704.2
1987	20	96.5	18.4	6	88.8	16.9	4	89.4	17.0	6	249.1	47.7	36	523.8
1988	30	129.1	28.1	11	162.7	35.4	4	103.5	22.5	2	64.1	14.0	47	459.4
1989	26	118.3	22.7	17	235.1	45.2	4	99.2	19.1	2	66.5	13.0	49	519.1
1990	35	161.4	22.7	11	162.1	22.8	3	72.0	10.1	7	313.4	44.4	56	708.9

L = Lámina precipitada.



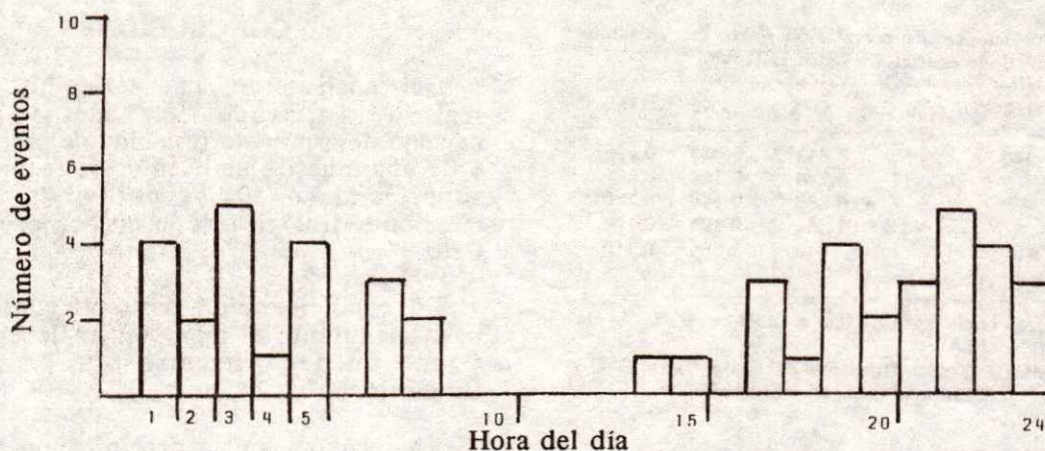


Figura 4. Histograma de ocurrencia de eventos de escurrimientos durante el día en la cuenca pecuaria La Cruz, Tabasco, Zac. INIFAP.

#### Escorrimento Superficial

Basados en los hidrogramas obtenidos se observa que los escurrimientos superficiales se presentaron como avenidas, y se registraron a partir de las 16:00 hasta las 8:00; ningún escurrimiento empezó desde las 9:00 hasta las 14:00 (Figura 4). En cuanto a una distribución temporal de los eventos de escurrimiento superficial ésta se observa en el Cuadro 5, se puede señalarse que también julio y agosto son meses que mayor número de eventos tienen (3.33 y 4.66 en promedio, respectivamente).

Analizando los coeficientes de escurrimiento de 1985 a 1990, con excepción de 1989 ( $n = 50$ ), se encontró (Cuadro 6) que el mes de septiembre tiene el coeficiente más alto (0.36) seguido de agosto y julio (0.30 y 0.19, respectivamente). Con este concepto, el

planeador del uso y conservador de los recursos del pastizal debe considerar que aunque existen menos eventos de escurrimiento superficial, los volúmenes escurridos son mayores en el mes de septiembre, ya que las condiciones de humedad de la cuenca son más altas. De esta manera, la asociación entre la lámina escurrida y el antecedente de humedad ( $r = 0.28$ ,  $P > 0.05$ ) comprueba esta relación (Cuadro 7). Lo anterior tiene sus excepciones, especialmente cuando la magnitud de la precipitación pluvial es la responsable de la respuesta de la cuenca en forma de escurrimiento superficial.

Por otro lado, algunos modelos de hidrológicos condicionan el parámetro de retención (S), del método de curvas numéricas, al contenido de humedad en el suelo (Arnold y Williams, 1987; Wight y Skiles, 1987).

Cuadro 5. Número de eventos de escurrimiento superficial por mes y año, en la cuenca pecuaria La Cruz. INIFAP.

Mes	1985	1986	1987	1988	1989	1990	E	$\bar{X}$
Junio	0	4	0	2	1	0	7	1.16
Julio	0	3	6	3	5	3	20	3.33
Agosto	3	1	2	3	10	9	28	4.66
Septiembre	1	3	3	1	7	2	17	2.83
Octubre	0	1	0	0	0	0	1	0.13
Noviembre	0	0	0	0	0	0	0	0

Cuadro 6. Lámina precipitada y escurrida por mes en la cuenca pecuaria "La Cruz".

Mes	Precipitación pluvial	Lámina escurrida	Coefficiente de escurrimiento
	----- mm -----		
Junio	118.3	4.58	0.038
Julio	439.4	86.5	0.19
Agosto	452.8	136.3	0.30
Septiembre	333.9	120.7	0.36
Octubre	26.5	1.91	0.07
Noviembre	0	0	0



Cuadro 7. Coeficientes de correlación entre las variables hidrológicas de la cuenca La Cruz. INIFAP.

	PP	HS	LE	GM	TAP	D
PP	1	0.168	0.79**	0.642**	0.032	0.596**
HS		1	0.281*	0.274	0.124	0.28
LE			1	0.886**	0.146	0.389**
GM				1	0.179	0.178
TAP					1	0.146
D						1

\* y \*\* Significancia estadística a 0.05 y 0.01 % de probabilidad. n = 50  
 PP = Precipitación; HS = Humedad del suelo; GM = Gasto máximo; TAP = Tiempo al pico; D = Duración.

Cuadro 8. Valores promedio e intervalo de las variables hidrológicas consideradas en la etapa de caracterización de la cuenca La Cruz. INIFAP.

Variable	$\bar{X}$	Rango		ES
		Máximo	Mínimo	
Precipitación pluvial (mm)	27.41	66.7	7.0	2.16
Humedad del suelo (cm de agua/cm de suelo)	0.279	0.443	0.048	0.01
Lámina escurrida (mm)	7.000	44.27	0.06	1.39
Gasto máximo ( $m^3 s^{-1}$ )	0.667	3.90	0.005	0.12
Tiempo al pico (min)	90.3	810.0	15.0	16.67
Duración (min)	1096.0	6210.0	315.0	139.44

ES = Error estándar  
 n = 50

Es importante señalar que se encontró una relación lineal positiva y altamente significativa ( $P > 0.01$ ) entre la lámina escurrida con la lámina precipitada y el gasto máximo (0.79 y 0.38, respectivamente). La importancia de estas variables en la construcción o conceptualización de modelos queda plasmada en el método de curvas numéricas y el método del Servicio de Conservación de Suelos del USDA para la estimación de la lámina escurrida y gastos máximos, respectivamente.

En el Cuadro 8 se resume las características (promedio e intervalo) de las variables hidrológicas de la cuenca pecuaria La Cruz. Se observa que la amplia variabilidad de situaciones (magnitud de precipitación y antecedente de humedad) genera también una gran variación en las características del hidrograma, principalmente en tiempo al pico y duración del escurrimiento.

## CONCLUSIONES

Del análisis de una serie histórica de registros diarios de siete años y para un periodo determinado (estación de crecimiento) y de una muestra de eventos de escurrimiento superficial (n=50) se obtuvo la caracterización hidrológica de la cuenca pecuaria La Cruz.

En condiciones de pastoreo continuo del pastizal durante el temporal en la cuenca La Cruz pueden hacerse las siguientes conclusiones:

En relación con la precipitación se puede señalar que los meses con mayor número de eventos son julio y agosto. Más de 60% de la lámina precipitada es debida a eventos con una magnitud mayor a 11.0 mm (lluvia máxima en 24 h). De 1985 a 1990, cada uno de estos años registró un mínimo de dos eventos cuya magnitud superó los 30.0 mm. El máximo maximorum registrado en 24 h fue de 66.7 mm.

En relación con el escurrimiento superficial, los meses de julio y agosto son los que tienen un mayor número de eventos durante el temporal, aunque el coeficiente de escurrimiento más alto correspondió a septiembre.

## RECONOCIMIENTO

Este trabajo forma parte del Proyecto "Manejo Integrado de la Cuenca Hidrológica El Plateado".

## LITERATURA CITADA

- ARNOLD, J.G., and J.R. WILLIAMS. 1985. Evapotranspiration in a basic scale hydrologic model. Proc. National Symp. on Advances in Evapotranspiration. ASAE, December 16-17. Chicago. USA.
- ARNOLD, J.G., and J.R. WILLIAMS. 1987. Validation of SWRRB - Simulator for water resources in rural basins. J. of Water Resources Planning and Management 113: 243-256.
- BLACK, C.A. (ed.). 1965. Methods of Soil Analysis. Amer. Soc. of Agron. Agronomy 9. Madison, Wis.
- BRANSON, F.A., G.F. GIFFORD, K.G. RENARD, and R.F. HADLEY. 1981. Rangeland Hydrology. Soc. for Range Management. Kendall/Hunt Pub. Co. U.S.A.
- BOUYOCOS, G.J. 1962. Hydrometer method improved for making particle size analysis of soil. Agron. J. 54: 464-465.



- CETENAL. 1974. Cartas Edafológicas F-13-d-16 (Tlaltenango) y F-13-D-17 (Calvillo). SPP. México.
- GARDNER, W.H. 1965. Water content. In: C.A. Black (ed.) Methods of soil analysis. Amer. Soc. Agron. Agronomy 9. Madison, Wis.
- GUTIERREZ, L.R. 1984. Efecto de la exclusión sobre la sucesión secundaria de la vegetación. Informe Anual de Investigación. INIA. (sin publicar).
- LLOYD-REILLEY, J., C.J. SCIFRES, and W.H. BLACKBURN. 1984. Hydrologic impacts of brush management with tebuthiuron and prescribed burning on post oak savannah watersheds, Texas. Agric. Ecosystems Environ. 11: 213-224.
- PAULIN, W.S. 1984. Medición y registro continuo de variables hidrológicas. Informe anual de investigación. INIA. (sin publicar).
- QUINTANA, M.R. y A. SANCHEZ M. 1989. Calibración de una cuenca hidrológica en la región montañosa de Chihuahua. Manejo de Pastizales 3: 9-14.
- RICHARDS, L.A. (ed.). 1980 Diagnóstico y Rehabilitación de suelos salinos y sódicos. Traducción del Handbook 60. Ed. Limusa, México.
- RHOADES, E.D., L.F. LOCKE, H.M. TAYLOR, and E.H. McILVAIN. 1964. Water intake on sandy range as affected by 20 years of differential cattle stocking rates. J. Range Manage. 17: 185-190.
- SERNA P.A. y M.A. VELASQUEZ. 1987. Relación precipitación-escurrimiento en una pequeña cuenca experimental de uso pecuario. Informe anual de investigación. SARH-INIFAP. (sin publicar).
- STRAHLER, A.N. 1964. Quantitative geomorphology of drainage basins and channel networks, pp. 40-74. In: Ven Te Chow (ed). Handbook of Applied Hydrology. McGraw-Hill Book., New York.
- SWINDEL, B.F., and J.E. DOUGLASS. 1984. Describing and testing nonlinear treatment effects in paired watershed experiments. Forest Sci. 30: 305-313.
- VELASQUEZ, V.M. 1991. El Plateado, un modelo hidrológico de simulación para cuencas de pastizales. Tesis de Maestría. Colegio de Postgraduados, Montecillo, Edo. de México.
- VEN TE CHOW. 1982. Hidráulica de los canales abiertos. Traducción al español de Alberto Val. Editorial Diana. México.
- WARREN, S.D., T.L. THUROW, W.H. BLACKBURN, and N.E. GARZA. 1986. The influence of livestock trampling under intensive rotation grazing on soil Hydrologic characteristics. J. Range. Manage. 39: 491-495.
- WIGHT, J. R., and J.W. SKILES (eds.). 1987. SPUR: Simulation of production and utilization of rangelands. Documentation and user guide. U.S. Department of Agriculture, Agricultural Research Service, ARS 63.
- WISCHMEIER, W.H. and D.D. SMITH. 1978. Predicting rainfall erosion losses. Agriculture Handbook No. 537. USDA-Science and Education Administration, Washington. D.C.
- YOUNG, J.A., R.A. Evans, and D.A. Easi. 1984. Stem flow on Western Juniper (*Juniperus occidentalis*) tress. Weed Sci. 320-327.327.



## AMONIO Y CARBONATO DE CALCIO PARA LA SUBSTITUCION PARCIAL DE NITRATO EN CONDICIONES HIDROPONICAS EN TRIGO

Ammonium and Calcium Carbonate to Partial Substitution of Nitrate Under Hydroponic Conditions in Wheat

Manuel Sandoval Villa, Juan L. Tirado Torres  
Gustavo A. Baca Castillo y J. Antonio Santizo Rincón

Centro de Edafología y Centro de Estadística y Cálculo,  
Colegio de Postgraduados, 56230 Montecillo, Méx.

Palabras clave: Amonio, Carbonato, Hidroponía, Trigo.

Index Words: Ammonium, Carbonate, Soilless culture, Wheat.

### RESUMEN

Se estudió la respuesta del cultivo de trigo (*Triticum aestivum* L.) cv. Salamanca S-75 a fracciones crecientes de  $\text{NH}_4\text{-N}$  (0, 4 y 8 meq  $\text{L}^{-1}$ ), manteniendo constante la concentración de nitrógeno (12 meq  $\text{L}^{-1}$ ) mediante la adición de  $\text{NO}_3\text{-N}$ . Asimismo, se evaluó la respuesta a la aplicación de carbonato de calcio ( $\text{CaCO}_3$ ) en plantas abastecidas con proporciones elevadas de  $\text{NH}_4\text{-N}$  (8 meq  $\text{L}^{-1}$ ). Para lo cual se establecieron tratamientos con 3, 6 y 9 meq  $\text{L}^{-1}$  de  $\text{CaCO}_3$ . Los nutrientes esenciales restantes (a excepción de  $\text{SO}_4$  y Ca) permanecieron constantes en la solución nutritiva. El diseño del experimento consistió de un total de seis tratamientos, distribuidos completamente al azar, cada uno con tres repeticiones. Se consideraron dos plantas por unidad experimental. La renovación de la solución nutritiva se hizo cada nueve días. La producción total de materia seca (MS) y de grano disminuyó conforme aumentó la proporción de  $\text{NH}_4\text{-N}$ . Sin embargo, al agregar 3 y 6 meq  $\text{L}^{-1}$  de  $\text{CaCO}_3$  a

la solución nutritiva se registró un incremento en ambas variables. Con lo anterior fue posible igualar la producción de MS correspondiente al tratamiento con 12 meq  $\text{L}^{-1}$  de  $\text{NO}_3\text{-N}$ . La neutralización (mediante el empleo de  $\text{CaCO}_3$  de la acidez de la solución nutritiva, resultante de la absorción del amonio por parte de la planta, permitió incrementar la concentración de  $\text{NH}_4\text{-N}$  en la solución nutritiva, además de incrementar la proporción del grano respecto del peso total. Aparentemente la presencia del ion amonio en la solución nutritiva no fue perjudicial a la planta y los daños pueden ser atribuidos a la acidez resultante por la rápida absorción del  $\text{NH}_4\text{-N}$ .

### SUMMARY

Growth of wheat plants (cv. Salamanca S-75) at 0, 4, and 8 meq  $\text{L}^{-1}$  of  $\text{NH}_4\text{-N}$  was measured in a greenhouse study. The total N concentration in the nutrient solution was constant (12 meq  $\text{L}^{-1}$ ). Another objective of this research was to examine the growth of wheat plants to increasing additions of  $\text{CaCO}_3$  (3, 6 and 9 meq  $\text{L}^{-1}$ ) in nutrient solutions with high fraction of  $\text{NH}_4\text{-N}$  (8 meq  $\text{L}^{-1}$ ). Each one of the treatments was replicated 3 times in randomized block design. The nutrient solution was renewed every nine days. Dry matter production and grain of wheat plants was reduced when

Recibido 8-92.



nitrogen was supplied as  $\text{NH}_4\text{-N}$  in the nutrient solution in comparison to the growth of plants receiving  $\text{NO}_3\text{-N}$ . However, when  $\text{CaCO}_3$  (3 and 6 meq  $\text{L}^{-1}$ ) was added into nutrient solution with 8 meq  $\text{L}^{-1}$  of  $\text{NH}_4\text{-N}$ , dry matter production and the weight of grains was increased at the same level achieved by plants supplied with 12 meq  $\text{L}^{-1}$  of  $\text{NO}_3\text{-N}$ . The acidity control of the nutrient solution by  $\text{CaCO}_3$  addition, allowed the use of high concentration of  $\text{NH}_4\text{-N}$  in the nutrient solution. Additionally, the mixture of  $\text{NH}_4\text{-N}$  and  $\text{CaCO}_3$  raised the weight of grains. Finally, the presence of ammonium nitrogen in the nutrient solution was not harmful to plants, the damage was caused by physiological desorption of  $\text{H}^+$  ions by the plants when they take up ammonium in great quantities.

## INTRODUCCION

En la actualidad, al establecer unidades para cultivo intensivo en condiciones hidropónicas comerciales, es común el desabasto de fertilizantes que contengan el ion nitrato (nitrato de potasio y nitrato de calcio), además de un elevado precio de estos productos. Una alternativa a este problema sería la substitución parcial del  $\text{NO}_3\text{-N}$  por  $\text{NH}_4\text{-N}$ , sin embargo, la bibliografía no recomienda el uso de amonio, o cuando lo hace, sólo indica su uso en pequeñas cantidades (Baca, 1983; Rodríguez, 1986).

Se conoce, desde el siglo pasado, que la adición de calcita en la zona de la raíz de la planta (Gouny, 1955), así como el uso de carbonato de amonio en la solución nutritiva (Chouteau, 1963; Prianishnikov, 1951) y la neutralización de la acidez fisiológica causada por la planta al absorber amonio, son prácticas que han permitido crecimientos semejantes cercanos o superiores al obtenido con suministro de  $\text{NO}_3\text{-N}$ . La forma en la cual el carbonato mejora la absorción y asimilación del amonio, son aún materia de discusión en la actualidad. Prianishnikov (1951) lo atribuyó al suministro adicional de  $\text{Ca}$  a la solución nutritiva. Esta hipótesis más tarde fue rechazada por Barker *et al.* (1966b), ya que al substituir el  $\text{CaCO}_3$  por  $\text{MgCO}_3$  o  $\text{BaCO}_3$  también se obtuvieron incrementos en la utilización del amonio en plantas de frijol. Se creía posible que el  $\text{CO}_2$  o el  $\text{HCO}_3^-$ , proveniente del carbonato, fuera incorporado a la raíz para formar esqueletos

carbonados (Prianishnikov, 1951). No obstante, Barker *et al.* (1966a), empleando el isótopo  $^{13}\text{CO}_3$ , determinaron que éste no es incorporado a la raíz. Por esta razón Barker *et al.* (1966a) atribuyeron este efecto benéfico a la capacidad de neutralización del pH de los carbonatos. Afirmación con la que coinciden varios investigadores (Barker *et al.*, 1967; Maynard y Barker, 1969; Sheat *et al.* 1959).

Sandoval (1991) encontró que el uso de  $\text{NH}_4\text{-N}$  en soluciones nutritivas, aun sin controlar el pH, incrementó el rendimiento de grano de trigo en condiciones de verano, lo cual no se puede lograr en invierno, a menos de que las aplicaciones de las fracciones de  $\text{NH}_4\text{-N}$  se hagan a partir del inicio del período de llenado de granos (Sandoval *et al.*, 1993).

Al utilizar 50% de  $\text{NH}_4\text{-N}$ , sin controlar el pH de la solución nutritiva, se puede incrementar la producción de grano de trigo, respecto a plantas abastecidas con 100% de  $\text{NO}_3\text{-N}$  (Sandoval *et al.*, 1992). Por lo tanto, si se utiliza carbonato para controlar la acidez resultante de la absorción del amonio, es posible incrementar la proporción de  $\text{NH}_4\text{-N}$  en la solución nutritiva.

En el presente estudio se planteó determinar hasta que grado es posible neutralizar la acidez resultante de la absorción del amonio mediante el uso de carbonato de calcio. Y verificar las concentraciones de carbonato que permiten incrementar la concentración de amonio en la solución nutritiva.

De igual forma se buscó determinar si el uso de carbonato de calcio permite incrementar la proporción de  $\text{NH}_4\text{-N}$  a utilizar en la solución nutritiva.

## MATERIALES Y METODOS

En el ensayo se hicieron crecer plantas de trigo *cv.* Salamanca S-75 en seis soluciones nutritivas (Cuadro 1). Los factores de estudio fueron la concentración de  $\text{NH}_4\text{-N}$  y  $\text{NO}_3\text{-N}$  (meq  $\text{L}^{-1}$ ), además de tres niveles de  $\text{CO}_3$ . Las plantas de trigo se sembraron el 11 de octubre de 1991 y se transplantaron el 27 del mismo mes. Se colocaron cuatro plantas en un recipiente de 3 L de capacidad. Se utilizaron tres macetas por tratamiento. En las tapas de los recipientes se hicieron hoyos



Cuadro 1. Proporción de  $\text{NH}_4\text{-N}$ ,  $\text{NO}_3\text{-N}$  y concentración de  $\text{CaCO}_3$  de los tratamientos.

Tratamiento	$\text{NH}_4^+$	$\text{NO}_3^-$	$\text{CaCO}_3$	$\text{Ca}^{2+}$	$\text{SO}_4^{2+}$	$\text{Mg}^{2+}$	$\text{K}^+$	$\text{H}_2\text{PO}_4^-$
----- meq L <sup>-1</sup> -----								
1	0	12	0	9	11	3	12	1
2	4	8	0	9	18	3	12	1
3	8	4	0	9	26	3	12	1
4	8	4	3	12	26	3	12	1
5	8	4	6	15	26	3	12	1
6	8	4	9	18	26	3	12	1

en los cuales se colocaron las plantas sujetadas con hule espuma. Antes de que ocurriera la floración de las plantas se hicieron dos muestreos destructivos por lo cual en el momento de la cosecha (25 de enero de 1992) sólo se tenían seis plantas por tratamiento y se consideraron dos plantas por unidad experimental. El suministro de aire a la solución nutritiva se llevó a cabo con bombas peristálticas y cada dos días se registró el pH de la solución nutritiva.

La renovación de la solución nutritiva se hizo cada nueve días. Al utilizar el  $\text{CaCO}_3$  como fuente de carbonatos se originó un exceso de calcio en algunos tratamientos (Cuadro 1, Tratamientos 4, 5 y 6). La concentración de nitrógeno permaneció en todos los casos igual a 12 meq L<sup>-1</sup>.

El hierro se agregó como Fe-EDTA (2.8 mg L<sup>-1</sup>), según Hewitt (1966), y el resto de los micronutrientes se adicionaron de acuerdo con Hoagland y Arnon (1950). Diariamente se repuso el agua transpirada por las plantas.

En el momento de la cosecha se registró el peso seco de las hojas, espigas, tallos y raíz. Así como el número de tallos principales y de hijuelos en cada planta.

## RESULTADOS Y DISCUSION

### Producción Total de Materia Seca (MS) en la Cosecha

Los resultados indican que conforme disminuyó la proporción de  $\text{NH}_4\text{-N}$  en la

solución nutritiva, aumentó la producción de MS, hasta alcanzar un valor máximo en plantas abastecidas exclusivamente con  $\text{NO}_3\text{-N}$  (Figura 1, Tratamiento 1). La producción de materia seca en las plantas abastecidas con 8 meq L<sup>-1</sup> de  $\text{NH}_4\text{-N}$  (Tratamientos 3, 4, 5 y 6), sugirieron que existe un efecto favorable de las dosis crecientes de  $\text{CaCO}_3$  (Tratamientos 3 y 6 meq L<sup>-1</sup> de  $\text{CaCO}_3$ ) ya que con el empleo de  $\text{CaCO}_3$  fue posible recuperar la producción de materia seca a valores cercanos a los del Tratamiento 1. Por otra parte, cuando se agregaron 9 meq L<sup>-1</sup> de  $\text{CaCO}_3$  a la solución nutritiva, se pudo notar que el efecto sobre la producción fue perjudicial (Tratamiento 6).

Si las plantas absorben el nitrógeno comúnmente como  $\text{NO}_3\text{-N}$  es lógico suponer que a esta situación se adapten la mayoría de las plantas, en mayor grado las monocotiledóneas y que las dicotiledóneas. A pesar de que tal afirmación no es universalmente cierta (Goyal y Huffaker, 1984), se ha encontrado que para trigo se logra mayor producción de materia seca y de grano al emplear pequeñas fracciones de amonio (Below y Heberer, 1990; Sandoval, *et al.*, 1992; Shaviv y Hagin, 1987). Lo cual implica que las condiciones presentes en el suelo, cuando la forma de nitrógeno predominante es la nítrica, respecto a la absorción del nitrógeno, pueden no ser las más adecuadas para el desarrollo de la planta. Sin embargo, la producción de materia seca (Figura 1) no correspondió a lo señalado por Below y Heberer (1990), Shaviv *et al.* (1987) y Sandoval *et al.* (1992). Al respecto Sandoval *et al.* (1993) encontraron que en condiciones de temperatura y luminosidad bajas, como lo son el final del otoño y principios de invierno (circunstancias en las



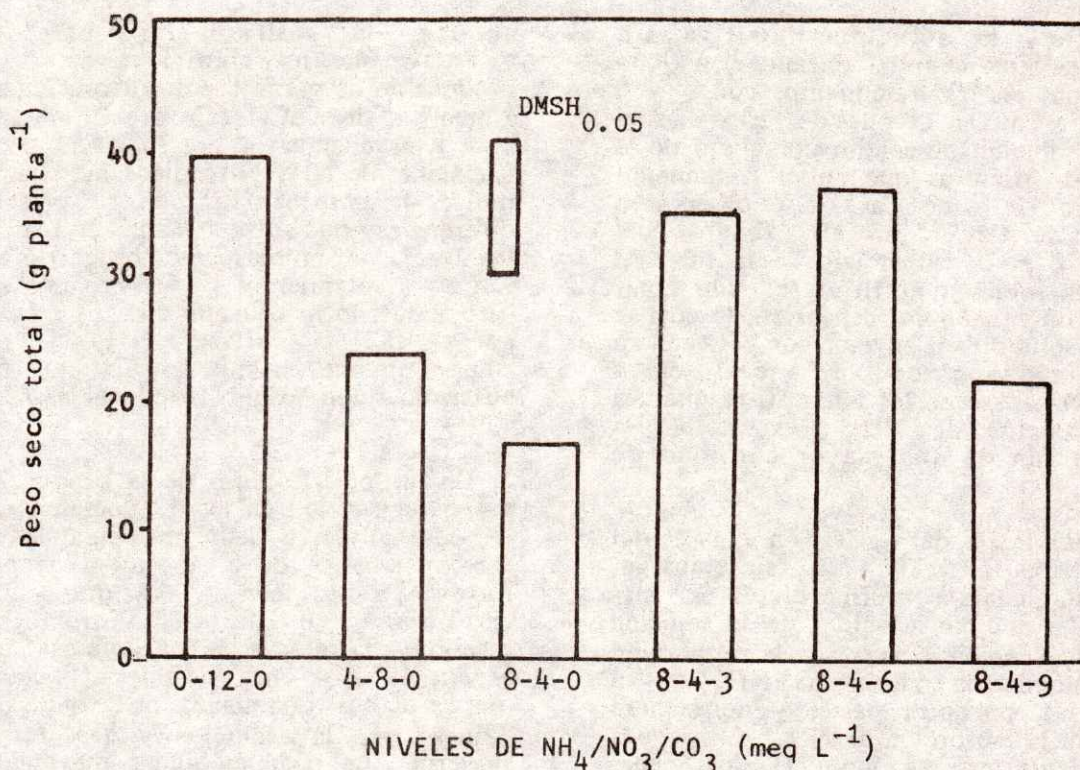


Figura 1. Efecto de la aplicación de diferentes proporciones de NH<sub>4</sub>-N y de CaCO<sub>3</sub> en la solución nutritiva en plantas de trigo llevadas hasta madurez fisiológica.

cuales se desarrolló este experimento) no son convenientes para utilizar amonio para abastecer de nitrógeno a las plantas, a menos de que el abastecimiento de NH<sub>4</sub>-N se haga después de la floración. Tal hecho, aunado a que no se contrarrestó la acidez provocada por uso del amonio en los tratamientos con 4 y 8 meq L<sup>-1</sup> de NH<sub>4</sub>-N (sin adición de carbonato), explica la caída de la producción al aumentar la proporción de amonio en la solución nutritiva, ya que es indispensable la existencia de reservas de carbohidratos o un aparato fotosintético bien desarrollado para que la planta esté en posibilidades de asimilar el amonio proveniente del exterior (Salsac *et al.*, 1987). Lo anterior implica que la asimilación ocurrió en la raíz y se requirieron esqueletos de carbono provenientes de los compuestos carbonados elaborados en los órganos fotosintéticos.

La Figura 1 muestra que el amonio por si solo no resultó tóxico para la planta en las dosis probadas, en este caso se

comprobó que la toxicidad se debió al efecto acidificante del amonio, pues con la adición de CaCO<sub>3</sub> se logró mantener el pH cercano a la neutralidad al menos en los tratamientos con 3 y 6 meq L<sup>-1</sup> de CaCO<sub>3</sub> en plantas jóvenes. Cuando las plantas fueron adultas el pH permaneció cerca de la neutralidad pocos días. Al agregar 9 meq L<sup>-1</sup> de CaCO<sub>3</sub>, el pH resultó alcalino durante todo el ciclo de la planta (datos no presentados), y es posible que varios iones se hayan precipitado debido al elevado pH. Por lo tanto, puede notarse que manteniendo el pH controlado es posible utilizar proporciones elevadas de amonio, aun en invierno.

La neutralización del pH de la solución nutritiva lograda con el empleo de CaCO<sub>3</sub> fue función de la concentración y de la edad de la planta. El CaCO<sub>3</sub> agregado a las plantas del Tratamiento 4 (3 meq L<sup>-1</sup>) cuando éstas eran pequeñas fue suficiente para mantener la neutralidad durante los nueve días que



permaneció la solución nutritiva sin renovación. Sin embargo, durante el periodo de floración, en los tratamientos con 3 y 6 meq L<sup>-1</sup> de CaCO<sub>3</sub>, después de varios días, el pH de la solución descendió por abajo de la neutralidad. Mientras que en el tratamiento con 9 meq L<sup>-1</sup> de CaCO<sub>3</sub> se observaron partículas de CaCO<sub>3</sub> en el fondo del recipiente o en la superficie de la raíz. Al preparar la solución nutritiva se pudo notar que el CaCO<sub>3</sub> quedó en suspensión, lo cual se debe a su solubilidad en agua con pH cercano a la neutralidad, razón por la cual sólo a medida que aparecen los iones H<sup>+</sup>, resultantes de la absorción de NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, es posible la solubilización de una mayor cantidad de CaCO<sub>3</sub>.

La solubilidad del CaCO<sub>3</sub> en agua es del orden de 0.00153 g/100 mL, sin embargo, ésta se incrementa conforme el pH es más ácido. Al principio la acidez de la solución nutritiva es función directa de la proporción de amonio ionizable en la misma (NH<sub>4</sub><sup>+</sup> ----> NH<sub>3</sub> + H<sup>+</sup>), por otra parte, y de manera primordial, la absorción de NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N provoca que la planta excrete iones H<sup>+</sup>, los cuales propician la solubilización del CaCO<sub>3</sub> presente en la solución nutritiva. Por lo tanto, existe un balance químico entre la proporción del NH<sub>4</sub>-N absorbido por las plantas y el CaCO<sub>3</sub> solubilizado. De esta forma es posible explicar como 3 meq L<sup>-1</sup> de CaCO<sub>3</sub> en plantas jóvenes, y 6 meq L<sup>-1</sup> en plantas en crecimiento más acelerado, no son suficientes para lograr una neutralización total del H<sup>+</sup> excretado por la planta, ya que ésta puede liberar 8 meq L<sup>-1</sup> de H<sup>+</sup>, en el supuesto de que todo el amonio sea absorbido, contra 3 o 6 meq L<sup>-1</sup> de CaCO<sub>3</sub> en los Tratamientos 4 y 5. Así, en el Tratamiento 6 siempre quedará un exceso de CaCO<sub>3</sub> (1 meq L<sup>-1</sup>) que genere la alcalinidad en la solución nutritiva de este tratamiento. También es probable que con 9 meq L<sup>-1</sup> de CaCO<sub>3</sub> pueda presentarse un efecto de insolubilización del fósforo por su retención en las partículas de CaCO<sub>3</sub>.

#### Peso de Espigas e Índice de Cosecha.

El peso de las espigas disminuyó por efecto del uso de amonio conforme la cantidad de NH<sub>4</sub>-N aumentó (Cuadro 2). Sin embargo, al utilizar CaCO<sub>3</sub> en tratamientos con 8 meq L<sup>-1</sup> de NH<sub>4</sub>-N fue posible exceder la producción de grano obtenida con el tratamiento considerado como óptimo (100% de NO<sub>3</sub>-N, Tratamiento 1),

aunque las diferencias no fueron estadísticamente significativas. La producción de grano fue desfavorecida al usar 9 meq L<sup>-1</sup> de CaCO<sub>3</sub> (Cuadro 2, Tratamiento 6). Aun cuando la presencia de pequeñas fracciones de NH<sub>4</sub>-N tendió a incrementar el índice de cosecha (IC), no se presentaron diferencias estadísticas (Cuadro 2, Tratamientos 2 y 3), un efecto parecido ocurrió al usar CaCO<sub>3</sub> (Tratamientos 4 y 5), pero un exceso de carbonatos, lo hizo disminuir. El incremento en el IC, al utilizar NH<sub>4</sub>-N, es un comportamiento muy regular en plantas abastecidas con NH<sub>4</sub>-N (Sandoval *et al.*, 1992, 1993).

El abrupto descenso de la producción de grano registrado en los Tratamientos 2 y 3, respecto al 1, se debió principalmente al efecto adverso de la absorción de NH<sub>4</sub>-N durante el invierno, ya que en estas condiciones se limita la fotosíntesis y disminuye la reserva de fotosintatos (Sandoval *et al.*, 1992). Otra posible explicación es que en ambos tratamientos no se neutralizó la acidez de la solución y que durante el invierno fue posible obtener mayor peso de espigas al emplear el CaCO<sub>3</sub> (Cuadro 2, Tratamientos 4 y 5), lo cual no hubiera sido posible sin la utilización del carbonato. Otro factor que tiene el mismo efecto, en plantas desarrolladas durante el invierno, es el abastecer a la planta con nitrógeno amoniacal y nítrico, después de que se inicia el llenado de granos (Sandoval *et al.*, 1993). En el primer caso, el incremento en producción de grano se debe a una mayor absorción de NH<sub>4</sub>-N y a una mayor incorporación de éste a la fracción amida y al nitrógeno insoluble en etanol, en la raíz de la planta, al neutralizar la acidez de la solución con CaCO<sub>3</sub> o hidróxidos (Barker *et al.*, 1966b). La adición de amonio a plantas en el proceso de llenado de grano posiblemente mejora la producción y el IC debido a que la planta presenta alta capacidad fotosintética que le permite asimilar el amonio absorbido. Cuando el amonio se agrega a las plantas durante el llenado de los granos no se aprecian daños a la raíz debido a que el crecimiento de las raíces se detiene al iniciarse la etapa de retranslocación de compuestos hacia el grano.

Lo antes expuesto puede explicar los resultados de los tratamientos con 3 y 6 meq L<sup>-1</sup> de CaCO<sub>3</sub>. Sin embargo, es prudente aclarar que los beneficios del uso de CaCO<sub>3</sub>



Cuadro 2. Peso total de espigas e índice de cosecha en plantas de trigo cv. Salamanca S-75 en el momento de la cosecha.

Tratamiento	NH <sub>4</sub> -N	NO <sub>3</sub> -N	CaCO <sub>3</sub>	Peso de espigas <sup>x</sup>	Índice de cosecha <sup>x</sup>
	--- meq L <sup>-1</sup> ---		g planta <sup>-1</sup>		
3	8	4	0	11.49	c 0.635 a
6	8	4	9	13.04	b c 0.573 a
2	4	8	0	20.31	a b 0.665 a
1	0	12	0	23.03	a 0.565 a
5	8	4	6	23.50	a 0.615 a
4	8	4	3	23.73	a 0.655 a
DMSH <sub>0.05</sub>				8.42	0.109

x) Valores seguidos por la misma letra son estadísticamente iguales.

son indirectos, ya que cuando la neutralización de la solución nutritiva se realiza con hidróxidos también es posible lograr buenos rendimientos, además de ser el amonio el que trae consigo una mayor absorción e incorporación de N en la planta (Barker *et al.*, 1966b). Sería conveniente separar los efectos propios del NH<sub>4</sub>-N al ser absorbido por las plantas de su posterior efecto acidificante, tal y como lo recomendó Priánishnikov (1951).

### Amacollamiento

El número de tallos principales por efecto de los tratamientos (NoTP) (Cuadro 3) no mostró diferencia estadística alguna. No obstante, el número de hijuelos productivos (NoHP) y de hijuelos vanos (NoHV) mostraron un marcado efecto de los tratamientos. En el caso de los tratamientos sin CaCO<sub>3</sub> el efecto pudo ser debido a que se indujo el amacollamiento ante la presencia del amonio (Below y Heberer, 1990; Shaviv *et al.*, 1987) pero los hijuelos alcanzaron poco crecimiento por los efectos adversos del desarrollo de las plantas a pH muy bajos (cerca y menores a 4.0), además de las bajas temperaturas presentes durante el desarrollo del experimento, que no favorecieron el uso del amonio (Sandoval, 1991). El número de hijuelos productivos disminuyó conforme se emplearon altas concentraciones de NH<sub>4</sub>-N (4 y 8 meq L<sup>-1</sup> de NH<sub>4</sub>-N) pero, al igual que ocurrió con otras variables como peso seco total y de espigas, fue posible alcanzar un considerable número

de hijuelos cuando se agregaron pequeñas dosis de CaCO<sub>3</sub> (3 y 6 meq L<sup>-1</sup>, Tratamientos 4 y 5), lo cual explica en parte porqué con estos dos tratamientos se alcanzaron grandes producciones de grano y también el decremento del valor de esa variable al usar un exceso de CaCO<sub>3</sub> (9 meq L<sup>-1</sup> de CaCO<sub>3</sub>). El número de hijuelos productivos fue mayor en los tratamientos con 3 y 6 meq L<sup>-1</sup> de CaCO<sub>3</sub> (superiores al tratamiento sin carbonato) lo cual implica que si se elimina el efecto acidificante del amonio, es posible que se manifieste un mayor amacollamiento, situación señalada comúnmente en gramíneas (Below y Heberer, 1990; Shaviv y Hagin, 1987). Lógicamente la proliferación de hijuelos provocó competencia entre éstos debido a que aparecieron en una etapa de rápido crecimiento, por lo tanto pudiera considerarse normal que con la producción de abundantes hijuelos, los granos tiendan a alcanzar menor peso.

Cuadro 3. Número de tallos principales (NoTP), hijuelos productivos (NoHP) y número de hijuelos vanos (NoHV), en plantas de trigo cv. Salamanca S-75.

Tratamiento	NH <sub>4</sub> -N	NO <sub>3</sub> -N	CaCO <sub>3</sub>	NoTP <sup>x</sup>	NoHP <sup>x</sup>	NoHV <sup>x</sup>
	--- meq L <sup>-1</sup> ---					
1	0	12	0	3.5a	8.33ab	4.00a
2	4	8	0	4.7a	8.50ab	1.17 b
3	8	4	0	3.5a	3.50a c	1.83ab
4	8	4	3	4.7a	10.70a	2.17ab
5	8	4	6	3.8a	11.20a	4.33a
6	8	4	9	4.0a	5.50 bc	3.67ab
DMSH <sub>0.05</sub>				1.5	4.30	2.63

x) Valores seguidos por la misma letra son estadísticamente iguales.

### CONCLUSIONES

El análisis conjunto de los resultados permite concluir que mediante el uso de carbonato de calcio es posible neutralizar la acidez resultante en la solución nutritiva al emplear NH<sub>4</sub>-N como fuente de nitrógeno.

La disminución de la producción de materia seca y de grano en algunos tratamientos, en las condiciones en que se desarrolló el experimento, fue debida a la acidificación de la solución nutritiva, como consecuencia de



la absorción del amonio, y no a la concentración de amonio presente en la solución nutritiva.

Se puede hacer un adecuado manejo de soluciones nutritivas que contienen amonio ya que la solubilización del  $\text{CaCO}_3$  ocurre en función de la cantidad de  $\text{H}^+$  que excreta la planta, lo cual mantiene el pH de la solución nutritiva cercano a la neutralidad.

Con el empleo de  $\text{CaCO}_3$  es posible incrementar la concentración de  $\text{NH}_4\text{-N}$  en la solución nutritiva sin deterioro de la producción, e inclusive igualar la producción de materia seca de plantas abastecidas exclusivamente con  $\text{NO}_3\text{-N}$ .

Se sugiere que la concentración de  $\text{CaCO}_3$  sea igual a la de  $\text{NH}_4\text{-N}$  o ligeramente menor.

#### LITERATURA CITADA

- BACAC, G. A. 1983. Efecto de la solución nutritiva, la frecuencia de los riegos, el sustrato y la densidad de siembra en cultivos hidropónicos al aire libre de pepino, melón y jitomate. Tesis de Doctor en Ciencias, Centro de Edafología, Colegio de Postgraduados, Chapingo, México.
- BARKER, A.V., R.J. VOLK, and W.A. JACKSON. 1966a. Growth and nitrogen distribution patterns in bean plants (*Phaseolus vulgaris* L.) subject to ammonium nutrition: I. Effects of carbonates on acidity control. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* 30:228-232.
- BARKER, A.V., R.J. VOLK, and W.A. JACKSON. 1966b. Root environment acidity as a regulatory factor in ammonium assimilation by the bean plant. *Plant Physiol.* 41:1193-1199.
- BARKER, A.V., D.N. MAYNARD, and W.H. LACHMAN. 1967. Induction of tomato stem and leaf lesions, and potassium deficiency, by excessive ammonium nutrition. *Soil Science* 103: 319-327.
- BELOW, F.E., and J.A. HEBERER. 1990. Time of availability influences mixed-nitrogen-induced increases in growth and yield of wheat. *J. Plant Nutr.* 13:667-676.
- CHOUTEAU, J. 1963. Etude de la nutrition nitrique et ammoniacale de la plante de tabac en présence des doses croissantes de bicarbonate dans le milieu nutritif. *Ann. Inst. Exp. Tabac Bergerac* 4:319-322.
- GOYAL, S.S., and R.C. HUFFAKER. 1984. Nitrogen toxicity in plants. pp. 97-118. In: R.D. Hauck (ed.). *Nitrogen in crop production*. ASA, CSSA, SSSA, Madison, Wis.
- GOUNY, P.M. 1955. Rôle du calcaire dans l'assimilation de l'azote ammoniacal. *C. R. Acad. Sci.* 241:95-97.
- HEWITT, E.J. 1966. Sand and water culture methods used in the study of plant nutrition. Commonwealth Agricultural Bureaux, Great Britain.
- HOAGLAND, D.R., and D.I. ARNON. 1950. The water culture method for growing plant without soil. *Circ.* 347. Berkeley Calif. Agric. Exp. Station. Univ. of Calif.
- MAYNARD, D.N., and A.V. BARKER. 1969. Studies on the tolerance of plants to ammonium nutrition. *J. Am. Soc. Hortic. Sci.* 94: 235-239.
- PRIANISHNIKOV, D.N. 1951. Nitrogen in the life of plants. by S.A., Wilde) Kramer Business Service, Inc. Madison Wisconsin.
- RODRIGUEZ, C.E. 1986. El cultivo de pepino (*Cucumis sativus* L.) en hidroponía bajo el sistema en grava con subirrigación. Tesis de Licenciatura, Depto. de Fitotecnia. Universidad Autónoma Chapingo, Chapingo, México.
- SALSAC, L., S. CHAILLOU, J-F. MOROT-GAUDRY, C. LESAIN, and E. JOLIVET. 1987. Nitrate and ammonium nutrition in plants. *Plant Physiol. Biochem.* 25:805-812.
- SANDOVAL, V.M. 1991. Efecto de la relación amonio nitrato en trigo (*Triticum aestivum* L.) cv. Salamanca S-75. Tesis de Maestría en Ciencias Centro de Edafología, Colegio de Postgraduados, Montecillo, México.
- SANDOVAL, V.M., G. ALCANTAR G., J.L. TIRADO T., and A. AGUILAR S. 1992. Effect of the  $\text{NH}_4/\text{NO}_3$  ratio on GS and PEPCase activities and on dry matter production in wheat. *J. Plant Nutr.* 15: 2545-2557.
- SANDOVAL, V.M., G. ALCANTAR G. y J.L. TIRADO T. 1993. Momento oportuno de la aplicación de amonio y nitrato para incrementar la producción de grano de trigo. *Terra.* 11: 61-66.
- SHAVIV, A., J. HAGIN, and P. NEUMANN. 1987. Effects of nitrification inhibitor on efficiency of nitrogen utilization by wheat and millet. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 18: 815-833.
- SHEAT, D.E.G., B.H. FLETCHER, and H.E. STREET. 1959. Studies on the growth of excised roots. VIII. The growth of excised tomato roots supplied with various inorganics sources of nitrogen. *New Phytol.* 58:128-141



## SIMULACION DEL COEFICIENTE DE CULTIVO CON BASE EN UNIDADES TERMICAS

Evapotranspiration Crop Coefficient Simulation  
Based on Growing-Degree-Days

Marco A. Inzunza I. y Francisco Mojarro D.

CENID-RASPA-INIFAP. Apartado Postal 41, Cd. Lerdo, Dgo.

*Palabras clave:* Maíz, Lisímetro de pesada, Unidades calor acumuladas, Evapotranspiración, Clima.

*Index words:* Corn, Weighing lysimeter, Accumulated growing-degree-days, Evapotranspiration, Climate.

### RESUMEN

El objetivo principal de este trabajo fue determinar el mejor modelo predictivo para la estimación del coeficiente de ajuste por desarrollo del maíz; para tal propósito, el cultivo se instaló en un lisímetro de pesada de alta precisión para la determinación de las tasas evapotranspirativas diarias. Los resultados mostraron un excelente ajuste al modelo propuesto por Norero (1976) y Sammis *et al.* (1985), donde dicho coeficiente de ajuste es función del desarrollo vegetativo del cultivo y del índice de área foliar, para el primero, y en función de las unidades calor acumuladas, para el segundo.

### SUMMARY

The main purpose of this study was to measure the best predictive model for the estimation of evapotranspiration crop

coefficients of corn; sowed in a weighing lysimeter of high precision measurement for the determination of the evapotranspiration when the corn was growing under no limiting moisture conditions.

The results showed an excellent fit to the proposed models by Norero (1976) and Sammis *et al.* (1985), which relate evapotranspiration crop coefficients versus the relative vegetative development and the leaf area index versus the growing-degree-days, respectively.

### INTRODUCCION

La estimación de la evapotranspiración de los cultivos mediante datos climáticos de fácil acceso en las diferentes zonas agrícolas del país. Por ejemplo, la evaporación de un tanque estándar tipo "A", es de gran relevancia para la planeación agrícola en riego y temporal. Además de esta información, se requiere conocer los coeficientes de desarrollo (KC) de los diferentes cultivos en tales zonas agrícolas, ya que este dato se ha tomado de la literatura extranjera y corresponde a cultivos desarrollados en otras latitudes; la mayoría de las veces se tiene poco éxito cuando se utilizan estos datos para las condiciones de México.

Mediante estos coeficientes, función del desarrollo vegetativo de los cultivos, se

---

Recibido 2-93.



realiza una corrección a la demanda evapotranspirativa por los factores climáticos. Estos coeficientes se han obtenido experimentalmente, midiendo en sus diferentes etapas de desarrollo las tasas evapotranspirativas de un cultivo cuando crece sin restricciones de humedad. De acuerdo con la importancia de tal coeficiente para la planeación de la irrigación, el objetivo central de este trabajo fue encontrar el mejor modelo de ajuste que logre una predicción realista del citado coeficiente.

### REVISION DE LITERATURA

Para lograr estimaciones aceptables de la evapotranspiración actual o real de los cultivos, debe tomarse en cuenta la demanda evapotranspirativa de los factores climáticos corregida por los factores planta y suelo. La transpiración es una evaporación productiva y es uno de los procesos fisiológicos más importantes de la planta, ya que la evaporación de la superficie foliar produce un gradiente que ocasiona el movimiento del agua desde el suelo hasta las hojas y permite conducir elementos nutritivos a los diferentes componentes de ésta.

Norero (1976) menciona que, por ser fenómenos cualitativamente semejantes, las causas y factores que promueven la evaporación de agua libre actúan en forma similar sobre los cultivos al producir la transpiración. De aquí la estrecha proporcionalidad entre la evaporación (EV), medida en un evaporímetro estándar, y la evapotranspiración de un cultivo sin restricciones de humedad en el suelo (ETx); sin embargo, los efectos del clima en la vegetación son cuantitativamente diferentes en un evaporímetro estándar y el factor de proporcionalidad entre ambos varía al cambiar las características ecofisiológicas de la vegetación. El autor indica que en los cultivos anuales este factor (ETx/EV) tiene una típica variación que se produce debido a la evolución del follaje y los cambios en la cobertura del terreno.

Palacios (1981) afirma que para lograr estimaciones aceptables de la evapotranspiración real o actual de los cultivos (ET), deben considerarse los factores del suelo y de la planta; sin embargo, en condiciones óptimas de humedad en el suelo sólo la planta afecta la oferta de agua. En estas condiciones la evapotranspiración real

se logra mediante la corrección de la evapotranspiración potencial (Grassi, 1965), por el coeficiente de proporcionalidad que es función del desarrollo del cultivo. Ahora bien, si se considera que la evaporación de un tanque estándar tipo "A" es el estimador de la evapotranspiración potencial, entonces el valor de KC estará dado por:

$$KC_i = ET_{xi}/EVi \quad (1)$$

donde:

KCi = Coeficiente de ajuste por desarrollo del cultivo en el período i.

ETxi = Evapotranspiración máxima del cultivo en el período i.

EVi = Evaporación de tanque estándar tipo "A" en el período i.

Sammis *et al.* (1985) determinaron la evapotranspiración por medio de lisimetría en los cultivos de alfalfa, algodón, maíz y sorgo, por varios años y en diferentes lugares de Nuevo México, EUA, con el fin de cuantificar el efecto de diferentes condiciones climáticas. El estudio se realizó en cuatro lugares del citado estado. Se estimó la evapotranspiración potencial con la ecuación de Penman, los coeficientes de ajuste por desarrollo (ET/ETp) para cada uno de los cultivos en estudio; además, se calcularon las unidades calor a partir de datos de temperatura. Los datos generados fueron ajustados a un modelo polinomial de tercer orden al relacionar ET/ETp y las unidades calor acumuladas para cada cultivo. Se concluyó que los coeficientes de ajuste son significativos cuando son transferibles de una región a otra. Al relacionar los citados coeficientes de ajustes KC con las unidades calor acumuladas, en lugar del calendario juliano, pueden desarrollarse curvas de KC comunes que son aplicables para diferentes años y lugares con diferentes condiciones climáticas, como se demostró con los cultivos estudiados. El concepto de relacionar los KC y las unidades calor acumuladas, fue más realista y transferible que relacionarlo con el calendario juliano, o el porcentaje de cobertura vegetal, para los cuales la información requerida no es realmente extrapolable.

Horton *et al.* (1970), concluyen que para la estimación del coeficiente de ajuste por desarrollo del cultivo es importante considerar en el modelo predictivo el índice



de área foliar por su relación con el crecimiento del cultivo y la evapotranspiración; este autor propone la siguiente función potencial:

$$KC = ET_x/EV = K IAF^b$$

donde:

ET<sub>x</sub> = Evapotranspiración de los cultivos cuando éstos se desarrollan en condiciones óptimas de humedad en el suelo.

EV = Evaporación de un tanque tipo "A".

K y b = Parámetros que dependen de las propiedades del suelo.

## MATERIALES Y METODOS

Localización del sitio experimental. Este trabajo se desarrolló en 1989 en el Campo Experimental del CENID-RASPA, ubicado en Gómez Palacio, Dgo. El suelo del sitio experimental es parte de la serie Coyote, predominante en la región, formada por suelos profundos, con poca variabilidad de textura (migajón arcillosa).

El clima del lugar es seco, desértico, caliente, con temperatura media anual de 21°C, la precipitación media anual es de 230 mm, con periodo libre de heladas de abril a octubre y posibles granizadas durante mayo.

Características generales del lisímetro. El lisímetro de pesada de alta precisión utilizado en este trabajo tiene las siguientes dimensiones: 1.8 m de ancho y 3.6 m de largo, el monolito de suelo inalterado tiene una profundidad de 1.50 m y en su base presenta un sistema de drenaje formado por ocho cámaras de succión distribuidas en cuadrícula. El objetivo de este sistema es simular el drenaje natural que ocurre a esta profundidad. El sistema de pesada se compone de una báscula comercial con capacidad de 28 toneladas, de un contrapeso que equilibra el "peso muerto" colocado en una palanca de extensión y una celda electrónica de carga con capacidad de 500 kg, la cual recibe el "peso vivo" del tanque de observación y lo envía en forma digital a la caseta de control.

Metodología de toma de datos. El maíz sembrado en el lisímetro se desarrolló en condiciones no restrictivas de humedad; para esto se realizaron muestreos continuos con un dispersor de neutrones, manteniendo el

contenido hídrico en el suelo a 0.5 - 1.0 atm de tensión de humedad; además, el terreno circunvecino restante se manejó en forma similar a la del lisímetro, con el fin de evitar el efecto de orilla y las condiciones de advección.

Los datos se tomaron del indicador digital diariamente y durante todo el ciclo vegetativo del maíz; dicha lectura se corrigió por el volumen de agua recolectada del sistema de drenaje. Los datos de evapotranspiración máxima (ET<sub>x</sub>) se suavizaron por medio de promedios móviles.

Modelos utilizados. Se utilizaron tres modelos diferentes:

1. El propuesto por Norero (1976), el cual es función del desarrollo vegetativo relativo y el índice de área foliar.

$$KC = ET_x/EV = K + F (Ti/Tc)^2 (1-Ti/Tc)$$

donde:

K = Parámetro de la función que indica la proporción de evaporación del suelo desnudo.

F = Índice medio del área foliar.

Ti = Duración del cultivo en días desde la siembra hasta el periodo i.

Tc = Duración total del ciclo vegetativo en días.

Ev = Evaporación de un tanque tipo "A".

2. Modelo propuesto por Horton *et al.* (1970). Este modelo toma en cuenta el índice de área foliar:

$$KC = b(IAF)^a$$

donde:

IAF = Índice de área foliar (adimensional).

a y b = parámetros de ajuste por características morfológicas y etapa de desarrollo del cultivo.

3. Modelo propuesto por Sammis *et al.* (1985).

Con el fin de lograr mayor generalidad a los modelos, los citados autores proponen, en lugar del calendario juliano, utilizar las unidades calor acumuladas como un parámetro climático de transferibilidad; dicha relación es la siguiente:

$$KC = b_0 + b_1 \Sigma G_i + b_2 \Sigma G_i^2 + b_3 \Sigma G_i^3$$



donde:

G = Unidades calor acumuladas al periodo i.  
 $b_i$  = Coeficientes de la regresión.

Los datos generados en este trabajo se ajustaron a los modelos arriba mencionados, por medio de la técnica de regresión múltiple.

**Índice de área foliar (IAF).** La importancia del estudio de este índice radica en que las plantas en condiciones diferentes de humedad reducen o aumentan su superficie foliar, afectando de esta manera su proceso fisiológico, fotosintético y transpirativo.

Durante el desarrollo del cultivo, y con una periodicidad de siete días, se hicieron determinaciones del área foliar mediante el método no destructivo, midiendo el largo y ancho de las hojas; el producto de estas dos mediciones se multiplicó por 0.75, para la obtención del área foliar (Linville *et al.*, 1978)

Los datos de IAF se correlacionaron mediante una función polinomial de tercer grado incompleta, donde el IAF fue el término dependiente y el desarrollo vegetativo relativo (DVR) del maíz, el término independiente, dicha función es la siguiente:

$$IAF = \beta_0 + \beta_1 DVR^2 - \beta_2 DVR^3$$

donde:

$\beta_1$  es el iésimo coeficiente de regresión.

**Datos del cultivo.** Se utilizó la variedad de maíz H-412 y la siembra se realizó en forma manual en el área del lisímetro y en forma mecánica en el área circunvecina a éste, se sembró a 0.76 m de separación entre hileras y aproximadamente a 20 cm de separación entre plantas.

## RESULTADOS Y DISCUSION

**Índice del área foliar.** Los valores del índice de área foliar generados mediante la metodología descrita se presentan en el Cuadro 1, dichos datos se tomaron en periodos regulares durante todo el periodo vegetativo del maíz. Los mayores valores de índice de área foliar (IAF) se presentaron después del inicio de floración, cuando el cultivo alcanzó su mayor cobertura vegetal por unidad de superficie, y empezaron a declinar

aproximadamente un mes después; el comportamiento de los valores del IAF con respecto al desarrollo del maíz se ilustra en la Figura 1. Al analizar dicha figura, se observa la tendencia típica de los cultivos anuales; creciente al inicio de su ciclo y decreciente al final del mismo. De acuerdo con esto se ajustaron los datos al modelo polinomial cúbico e incompleto en su término lineal propuesto por Norero (1976) citado en la Sección anterior; como resultado del ajuste de los datos mediante regresión, se obtuvo la siguiente función:

$$IAF = -1.32 \pm 21.50 DVR^2 - 20.60 DVR^3$$

con  $R^2 = 0.86$

donde los coeficientes fueron significativos a 1%

**Evapotranspiración máxima del maíz.** Los valores de evapotranspiración máxima del maíz establecido en el lisímetro de pesada, se presentan en la Figura 2. Estos datos, generados diariamente, presentan un comportamiento bien definido: tasas evapotranspirativas bajas en el periodo de emergencia a después de embuchamiento, tasas más altas de evapotranspiración en el periodo de antes de floración hasta antes de madurez del grano y, por último, demanda evapotranspirativa baja de inicio a madurez de grano a madurez fisiológica.

Cuadro 1. Datos de índice de área foliar, evapotranspiración máxima y coeficientes de ajuste por desarrollo del cultivo.

Fecha	DVR <sup>ad</sup>	IAF <sup>ad</sup>	ETx	KC <sup>ad</sup>
			mm	
12-V-89	0.27	0.08	177.5	0.53
23-V-89	0.35	0.31	78.7	0.75
31-V-89	0.41	0.56	69.5	0.88
12-VI-89	0.50	1.00	175.4	1.36
19-VI-89	0.55	2.10	109.8	1.55
23-VI-89	0.57	2.17	63.6	1.58
03-VII-89	0.65	2.20	163.0	1.65
13-VII-89	0.72	2.23	147.6	1.72
26-VII-89	0.81	2.05	183.1	0.88
03-VIII-89	0.86	1.05	66.2	1.22
10-VIII-89	0.92	0.45	57.5	0.92
18-VIII-89	0.98	0.31	44.7	0.66

IAF = Índice de área foliar; ETx = Evapotranspiración máxima; KC = Coeficientes de ajuste por desarrollo del cultivo.  
<sup>ad</sup>Adimensionales.



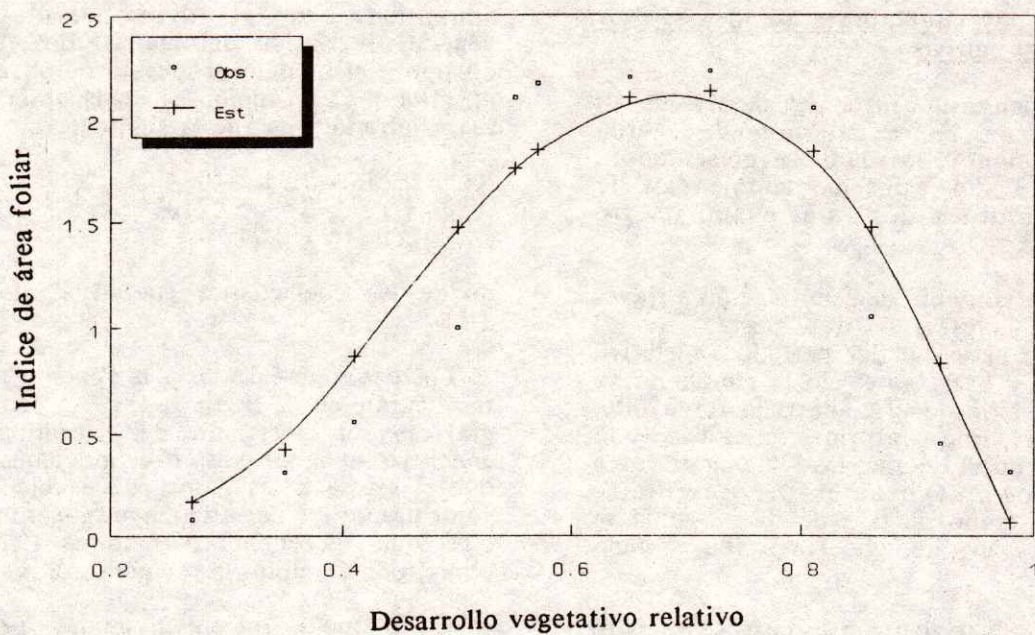


Figura 1. Comportamiento del índice de área foliar para maíz.

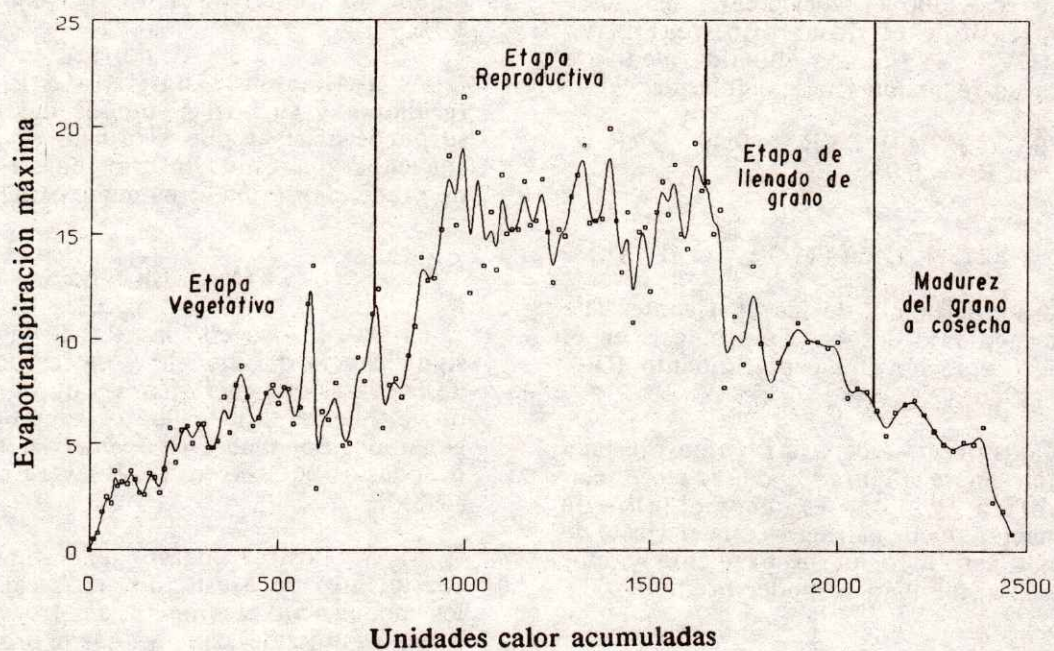


Figura 2. Evapotranspiración máxima en maíz en función de las unidades calor acumuladas.



### Obtención del coeficiente de ajuste por desarrollo del cultivo.

El coeficiente de ajuste por desarrollo del cultivo del maíz (KC) se determinó de acuerdo con la Ecuación 1, los datos se presentan en las Figuras 3 y 4; así como también los de evaporación obtenidos en el evaporímetro estándar tipo "A".

El comportamiento de esta relación a través del ciclo vegetativo del maíz fue el siguiente: en el inicio del período vegetativo del cultivo, y hasta antes de la floración, se presentaron bajos coeficientes de desarrollo, y se incrementaron conforme con el desarrollo del cultivo con el tiempo; los KC empezaron a disminuir de nuevo antes de presentarse madurez de grano, la tasa de disminución se incrementó a medida que finalizaba el ciclo vegetativo.

El mayor coeficiente de ajuste se registró poco después de floración y correspondió al valor de  $KC = 1.75$ , esto significa que la demanda hídrica del complejo planta-atmósfera superó en 75% la demanda evaporativa del medio ambiente. Los valores más bajos se presentaron al iniciarse el ciclo vegetativo y al término de éste.

Al utilizar el modelo propuesto por Norero (1976) se relacionó el coeficiente de ajuste por desarrollo y el desarrollo vegetativo relativo (DVR); la función obtenida mediante la técnica de regresión fue la siguiente:

$$KC = 0.275 + 9.431 \text{ DVR}^2 - 9.490 \text{ DVR}^3$$

con  $R^2 = 0.95$

o bien,  
 $ET_x/E_v = 0.275 + 9.460 (T_i/T_c)^2 (1 - T_i/T_c)$

donde la significancia de los coeficientes fue evaluada mediante pruebas de hipótesis en el análisis de regresión del procedimiento REG del SAS (1986).

Los datos observados y la función ajustada se ilustran en la Figura 3; de acuerdo con esta gráfica y con el coeficiente de determinación puede afirmarse que el ajuste de los datos a este modelo fue excelente y, por consecuencia, también su poder predictivo.

Con el propósito de lograr una mayor generalidad en la predicción de los KC, estos se relacionaron con las unidades calor

acumuladas en el lugar del desarrollo vegetativo relativo del maíz. Los datos se ajustaron al modelo propuesto por Sammis *et al.* (1985). La función ajustada obtenida por regresión múltiple fue la siguiente:

$$KC = 0.253 + 7.84 \times 10^{-4} G_0 + 7.77 \times 10^{-7} G^2 - 5.0 \times 10^{-10} G^3$$

con  $R^2 = 0.94$

donde los coeficientes fueron significativos a 1%.

Los datos observados y la función ajustada se ilustran en la Figura 4. Al analizar la gráfica y el coeficiente de determinación se concluye, al igual que en el modelo anterior, que el ajuste a los datos fue excelente y su valor predictivo permite mayor generalidad, ya que toma en cuenta parámetros físicos del clima, por ejemplo, la temperatura media.

En lo que se refiere al modelo propuesto por Horton *et al.* (1970), donde el coeficiente de desarrollo es función del índice de área foliar, al realizar el ajuste de los datos mediante el análisis de regresión múltiple resultó la siguiente función:

$$KC = 1.14 \text{ IAF}^{0.33}$$

con  $R^2 = 0.79$

donde los coeficientes fueron significativos a 1%.

Al realizar el análisis de la función resultante y su coeficiente de determinación se puede afirmar que el ajuste es aceptable; sin embargo, resulta inferior en su capacidad de predicción a los otros modelos obtenidos.

### CONCLUSIONES

a) De acuerdo con las  $R^2$  de 0.94, con la significancia del modelo y de los coeficientes de la regresión, las funciones que presentaron un excelente ajuste a los datos de KC, generados por medio de lisimetría, fueron los propuestos por Norero (1976) y Sammis *et al.* (1985).

b) Es posible lograr generalidad de los coeficientes de ajuste por desarrollo cuando los modelos involucran parámetros climáticos como las unidades calor ya que le proporcionan a éstos, mayor grado de extrapolación por la característica física del índice climático, basado en la temperatura del aire.



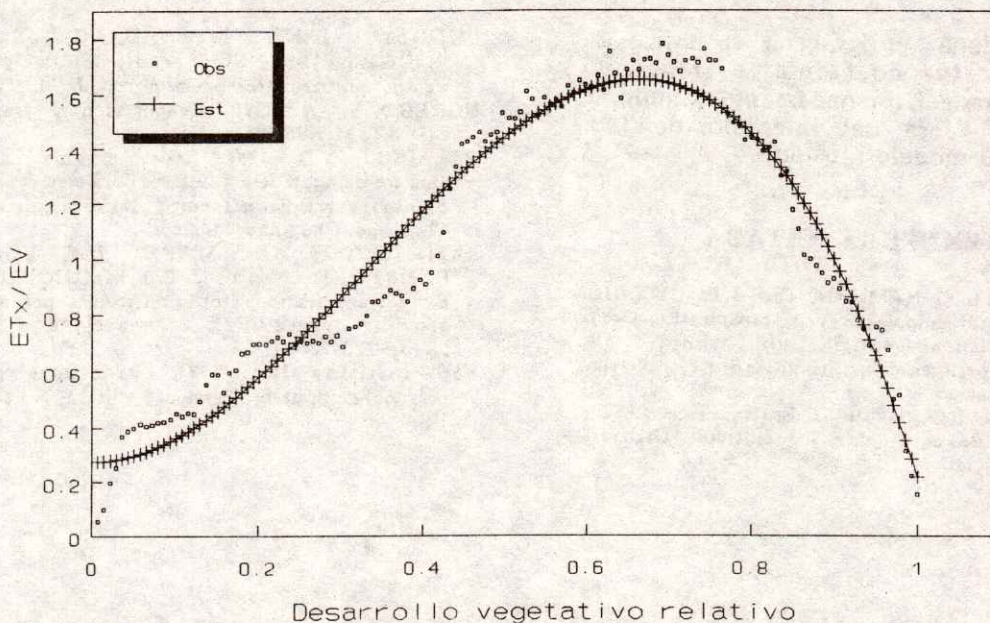


Figura 3. Relación entre el coeficiente de ajuste por desarrollo y el periodo vegetativo del maíz (ET = evapotranspiración máxima; EV = evaporación de tanque).

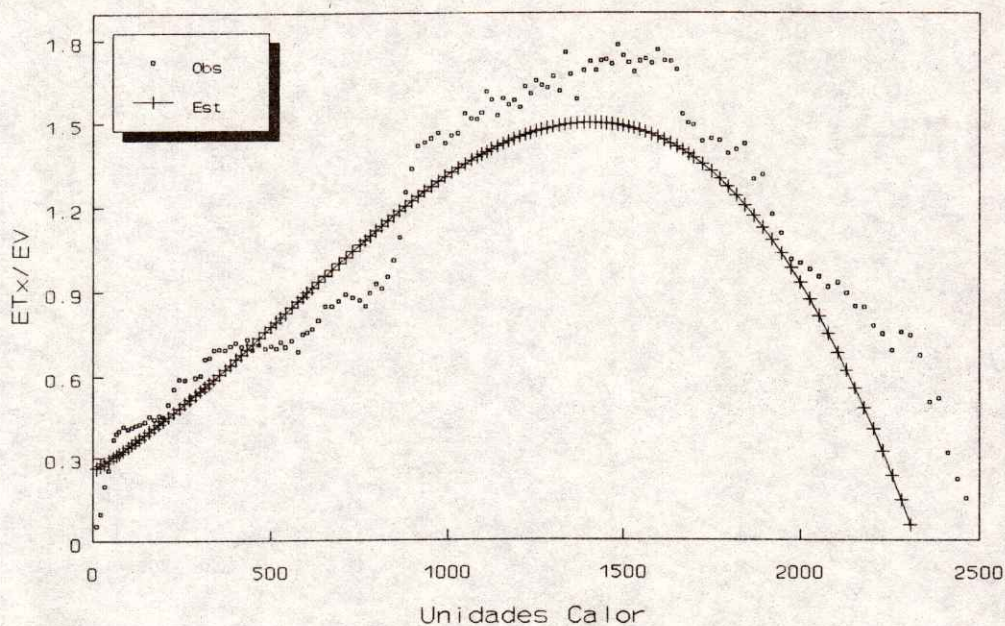


Figura 4. Relación entre el coeficiente de ajuste por desarrollo y las unidades térmicas acumuladas (ET = evapotranspiración máxima; EV = evaporación de tanque).



c) Al relacionar el KC con el índice de área foliar, estos coeficientes tienen la limitante de predecir erróneamente cuando se utilizan datos fuera del intervalo de IAF manejado en el modelo ajustado.

#### LITERATURA CITADA

- HORTON, M.L., L.N. NAMKEN, and J.T. RITCHIE. 1970. Role of plant canopies in evapotranspiration. Great Plains Agricultural Council. Publication No. 50. Agricultural Experiment Station Kansas State University, Manhattan, Kansas.
- GRASSI J., CARLOS. 1965. Estimación de los requerimientos de agua para los cultivos. CIDIAT, Mérida, Venezuela.
- LINVILL, D.E., R.F. DALE, and H.F. HODGES. 1987. Solar radiation weighting for weather and growth models. Agron. J. 70: 275-263.
- NORERO S., A. 1976. Evaporación y transpiración. CIDIAT. Mérida, Venezuela.
- PALACIOS, V.E. 1981. Estimación de los requerimientos de agua de los cultivos para conocer el cuándo y cuánto regar. Boletín Técnico 11. Universidad Autónoma Chapingo, Chapingo, México.
- SAMMIS, T.W., C.L. MAPEL, D.G. LUGG, R.R. LANSFORD, and J.T. MCGUCKIN. 1985. Evapotranspiration crop coefficients predicted using growing-degree days. Transactions of the ASAE 28 (3): 773-780.
- SAS Institute Inc. 1986. Procedure guide for personal computers. Version 6 edition. North Carolina, USA.



**CAPTACION Y CONSERVACION *in situ* DE AGUA DE LLUVIA EN  
MAIZ DE TEMPORAL DEL VALLE DE APATZINGAN, MICH.  
RETROSPECTIVA A TRES AÑOS**

Captation and Conservation *in situ* of Rainfall in Corn of the  
Valley of Apatzingan, Mich. Three Years Retrospective

Luis Mario Tapia Vargas, F. Caballero Hernández y  
J.J. Alcántar Rocillo

Campo Experimental Valle de Apatzingán. INIFAP.  
Apartado Postal 40, Apatzingán, Mich.

*Palabras clave:* Sequía, Maíz, Captación y  
conservación de agua.

*Index words:* Drought, Corn, Rainfall captation  
and conservation.

**RESUMEN**

El valle de Apatzingán presenta condiciones propicias para el cultivo del maíz, sin embargo, una fuerte limitante es la escasa e irregular precipitación que, combinada con la elevada demanda evapotranspirativa del medio, origina la pérdida del cultivo y bajos rendimientos de grano.

Ante esta situación, los objetivos de este trabajo fueron determinar el mejor material de conservación de agua y obtener el tamaño óptimo de microcuenca, para rendimiento de grano.

Se trabajó en tres años de estudio con cobertura plástica, estiércol, rastrojo y compactación, como materiales de conservación de agua; distancias de surco como área de captación, más un testigo de riego y otro de temporal. Los resultados indicaron que el rendimiento de grano fue mayor con la cobertura plástica en los tres años y distancia de surco de 0.80 m. La producción

decreció con el incremento del área de captación por lo que el área debe fluctuar entre 0.80 y 1.2 m. Debido a las altas precipitaciones de los dos últimos años, sólo el primer año se observó respuesta en rendimiento de grano a la captación y conservación de agua.

**SUMMARY**

The Apatzingan valley has adequate conditions for corn production, however, irregular and scanty rainfall is a limitant factor; besides, the high environment evaporative demands results in crop losses and low grain yields.

With this prevalent situation, the purpose of this work was to determine the best water conservation treatment and microwatershed size for corn grain yield. After three years comparing plastic mulch, manure, crop residues and soil compactation treatments for water conservation, and row widths as catchment area, besides regional irrigation and rainfed areas as controls. Results indicate that grain yield was higher with plastic mulch and with 0.80 m row width. Corn yields decreased as area increased. Catchment area must be between 0.80 and 1.20 m. Due to high rainfall during the last two years, only the first year of study there was response to water catchment in corn grain yield.

Recibido 2-93.



## INTRODUCCION

El cultivo del maíz (*Zea mays* L.) de temporal en el valle de Apatzingán ocupa menor superficie que otros granos debido a la sequía, elevada temperatura y presencia de plagas, principales causas de los siniestros totales o parciales del cultivo.

La precipitación registrada durante el ciclo de temporal en el valle alcanza los 500 mm, teóricamente suficientes para cubrir al menos 70% de los requerimientos de agua del grano, sin embargo, la irregularidad del temporal y la pésima distribución de las lluvias son las causantes de que la superficie sembrada con maíz no supere las 5000 ha con rendimiento de 0.2 a 0.6 t ha<sup>-1</sup> en temporal, 1.5 t ha<sup>-1</sup> en riego de punteo y 2.5 t ha<sup>-1</sup> en riego.

Una alternativa a esta problemática lo constituye el captar el exceso de precipitación de ciertos eventos y conducir el escurrimiento a la zona radical para que de esta manera, haya humedad disponible para crecimiento y desarrollo durante los periodos de sequía.

En este trabajo se presentan los resultados obtenidos durante tres años de estudio (1990, 1991 y 1992), en los que se tuvieron los siguientes objetivos:

1. Determinar la posibilidad de producir maíz de temporal en el Valle de Apatzingán.
2. Evaluar diferentes materiales para conservación de humedad del suelo.
3. Obtener el tamaño óptimo de microcuena de captación para rendimiento de grano.

## REVISION DE LITERATURA

Con el uso de áreas de captación se pretende encontrar el escurrimiento de un área adyacente a un área sembrada y aportar de esta manera una cantidad adicional de agua, para mantener cierto contenido de humedad en el perfil del suelo (Campos, 1985). El tamaño del área de captación depende fundamentalmente de cuatro factores: cantidad de lluvia, capacidad de almacenamiento de humedad del suelo, coeficiente de escurrimiento y necesidad hídrica del cultivo (Tovar, 1977).

El principio por el cual se rige el escurrimiento y su posterior aprovechamiento

es básico, Zing y Hauser (1959) indican que la parte superior se dedica a la colección y conducción del agua de lluvia y la inferior se acondiciona para retener o almacenar dicha agua.

De acuerdo con Diedrick (1973), el área de escurrimiento debe ser uniforme, con cierta pendiente e impermeable, lo que puede mejorarse con la aplicación de productos químicos, asfaltos, resinas, polímeros, etc., también sugiere utilizar materiales bituminosos, arcillas, empedrados y petróleo.

Tovar (1977) menciona que en el área de las raíces la superficie debe tratarse de manera que se propicie la máxima infiltración, ya sea mediante el barbecho, el subsoleo, el uso de cinceles y rastreo y la aplicación de coberturas.

La bondad del sistema de producción con el uso de microcuencas en el incremento del rendimiento presenta cierto límite, ya que cuando el tamaño de la microcuena aumenta, el rendimiento disminuye (Tovar, 1977); Campos (1985) encontró que un área de captación de 100 cm incrementa en 30% el rendimiento de grano en maíz-frijol de temporal.

Ruiz y García (1989) demostraron que el acolchado con plástico produjo mayor rendimiento de grano en maíz, independientemente de la densidad de siembra; sin embargo, el rendimiento decreció a medida que se incrementó el tamaño de microcuena y la humedad del suelo se abatió más rápidamente, con el incremento progresivo de plantas producto de la densidad de siembra constante.

Martínez (1991), en condiciones de temporal deficiente, con sólo 225 mm de lluvia durante el ciclo de cultivo, logró obtener 4.5 t de grano ha<sup>-1</sup>, significativamente diferente al tratamiento sin acolchado (2.5 t ha<sup>-1</sup>), asimismo, el acolchado propició mayor conservación de agua en todas las etapas de desarrollo del cultivo, en relación con el testigo sin acolchar.

## MATERIALES Y METODOS

Los experimentos se establecieron en el Campo Experimental "Valle de Apatzingán", durante los años 1990, 1991, 1992, en el ciclo de verano, en suelos arcillosos, con pH



**Cuadro 1. Tratamientos evaluados en tres años de estudio con captación de agua en maíz de temporal del valle de Apatzingán. 1990-1992.**

Tratamiento	1990		1991		1992	
	Cobertura	DS	Cobertura	DS	Cobertura	DS
		m		m		m
1	Plástico	0.80	Estiércol	0.80	Rastrojo	0.80
2	Plástico	1.10	Rastrojo	1.20	Rastrojo	1.20
3	Plástico	1.40	Estiércol	1.60	Rastrojo	1.60
4	Plástico	1.70	Rastrojo	0.80	Compactado	0.80
5	No	0.80	Estiércol	1.20	Compactado	1.20
6	No	1.10	Rastrojo	1.60	Compactado	1.60
7	No	1.40	Plástico	0.80	Testigo temporal	
8	No	1.70	Testigo temporal		Testigo riego	
9	Testigo riego		Testigo riego		No cob.	1.60
10	-		No cobertura	1.60	Plástico	0.80

DS = distancia de surcos.

alcalino, fuertes deficiencias de hierro y moderada presencia de sales. La profundidad del suelo en los tres años de estudio fue menor a 0.50 m.

En los tres ciclos de estudio se utilizó el híbrido H-422, caracterizado por su ciclo precoz y alto rendimiento de grano.

#### Tratamientos.

En el primer año se evaluaron cuatro distancias de surco (0.80, 1.10, 1.40 y 1.70 m) como área de captación; y dos tipos de cobertura como material de conservación de agua: acolchado plástico y sin acolchado. Se adicionó un tratamiento: testigo regional de producción con tres riegos (de auxilio a la siembra, y en las etapas de espigamiento y madurez lechosa del grano). Debido a la resequedad de este año, fue necesario regar en cinco oportunidades, tres riegos previos a la floración y dos entre floración y madurez.

En el segundo año se evaluaron tres distancias de surco: 0.80, 1.20 y 1.60 m; y dos tipos de cobertura: rastrojo de maíz y estiércol vacuno. Se adicionaron, además del mismo tratamiento del año anterior, un tratamiento con acolchado plástico, otro con 1.60 m de captación sin cobertura y otro sin cobertura surcado a 0.80 m.

En el tercer año se evaluaron los mismos tratamientos de 1991, excepto la cobertura con

estiércol que fue sustituida con una compactación del área de escurrimiento. Las combinaciones de los diferentes factores se muestran en el Cuadro 1.

La adopción de estas distancias de surco para el primer año fueron obtenidas de acuerdo con la metodología propuesta por Anaya *et al.* (1976), para una situación hipotética de cuatro años con precipitaciones de 400, 350, 300 y 250 mm, las cuales tienen una probabilidad de ocurrencia en el valle de 60, 75, 87 y 95%, respectivamente (Alcántar, 1990). Para los dos años restantes la modificación en el tamaño de microcuena fue por la factibilidad mecánica de la siembra.

Debido al costo del plástico, el segundo y tercer año se eliminaron como factores de estudio, pero se mantuvieron como sujetos de comparación. Los factores estudiados en 1992 son los de mayor factibilidad económica para adoptar por el productor regional, por lo que también para este año se eliminó el tratamiento con estiércol por incosteable.

Se utilizó un diseño experimental de bloques al azar, con cuatro repeticiones en los tres años de estudio; la parcela experimental constó de cinco líneas de plantas de 10 m de largo y la parcela útil fue de una línea central con la eliminación de 1.0 m de cada cabecera.

En los dos primeros años, la siembra se hizo a una distancia de 0.50 m, con un aclareo



posterior de dos plantas por golpe; en el tercer año, la distancia varió de acuerdo con el tratamiento ya que se manejó una población constante de 50 000 plantas por hectárea en todos los tratamientos.

La diferencia en la densidad de siembra en dos de los tres años de estudio se debió a que se consideró que una densidad de siembra constante en microcuencas de captación, propicia un mayor agotamiento del agua disponible a nivel radicular (Ruiz y García, 1989).

Las demás labores culturales fueron las mismas para todos los tratamientos en los tres años de estudio. Se fertilizó con la dosis 80-40-0 (N-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-K) a la siembra, se aplicaron herbicidas para el control de malezas y se controló el gusano cogollero, única plaga de importancia.

#### Toma de datos.

Se registraron las siguientes variables en el curso de los tres años:

- Altura de planta.
- Rendimiento de grano ajustado a 12% de humedad.
- Humedad del suelo estimada con el dispersor Toxler 3320.
- Precipitación y evaporación.

#### Análisis estadístico.

Para la variable rendimiento de grano y altura de planta se hizo el análisis de varianza y la prueba de Duncan para las medias. Este análisis, sólo se realizó para el tercer año ya que debido al efecto escondido de densidad de población, no es aplicable la prueba estadística en los dos primeros años de estudio.

## RESULTADOS Y DISCUSION

### Calibración del aspersor de neutrones.

Las lecturas del aspersor se calibraron para obtener el registro de humedad del suelo, la ecuación resultante es de forma cuadrática con los siguientes coeficientes:

$$\alpha: -0.763$$

$$\beta_1: 1.641^{**} (R_i/R_o)$$

$$\beta_2: -0.613 (R_i/R_o)^2$$

$$R^2: 0.66$$

### Variables climáticas.

En la Figura 1 se muestran las precipitaciones registradas por año de estudio y su comparación con la demanda evapotranspirativa del medio. Se advierte la alta irregularidad de la lluvia, aun cuando 1991 y 1992 fueron años de alta precipitación (516 y 617 mm durante el ciclo de cultivo, respectivamente). De acuerdo con la Figura 1, en ambos años se presentaron aceptables precipitaciones durante la fase de desarrollo de mayor requerimiento de agua por el cultivo (de acuerdo con Shaw (1990), la floración), sin embargo, para los fines del experimento, sólo el primer año se presentó la condición de sequía esperada para el logro de los objetivos.

En 1990 hubo un período de más de 40 días con bajas precipitaciones (55 mm) que coincidió con la fase de floración del cultivo y otro durante la etapa de llenado de grano. La presencia de sequía en ambos períodos, de acuerdo con Denmead y Shaw (1962), y Doorenbos y Kassam (1979), produce la mayor reducción del rendimiento de grano en maíz.

### Altura de planta.

En el Cuadro 2 se muestra la altura de planta conseguida para cada tratamiento durante los tres años de estudio; se observa que las mayores alturas de planta se consiguieron con el testigo de riego y con el tratamiento con acolchado plástico, surcado a 0.80 m; esta variable es importante en maíz, ya que se correlaciona directamente con el rendimiento, en un mismo material genético (Lara y Lasso, 1989).

En 1990 el acolchado plástico permitió obtener mayor altura de planta que el no acolchado; en 1991 no se observó diferencia clara entre la cobertura con estiércol y rastrojo, no obstante, las distancias de surco más cortas produjeron mayor altura de planta que el surcado a 1.60 m (Cuadro 2).

En 1993 la cobertura al suelo con rastrojo produjo mayor altura de planta que el suelo sin cobertura, esto coincide con lo asentado por Lara y Lasso (1989), quienes señalan que



Cuadro 2. Altura de planta de maíz de temporal con captación de agua en el valle de Apatsingán, Mich. 1990-1992.

1990		1991		1992	
Trata- miento	Altura	Trata- miento	Altura	Trata- miento	Altura <sup>x</sup>
	cm		cm		cm
9	218	9	183	10	182a
1	172	4	169	1	177ab
3	170	1	167	7	176ab
2	169	7	159	8	176ab
6	159	5	157	3	175abc
4	157	8	157	2	172abc
8	156	2	153	5	168abc
7	154	6	153	9	166 bc
5	146	10	151	6	161 c
		3	149	4	161 c
D.M.S. Duncan 5%					14

<sup>x</sup> Valores con la misma letra son estadísticamente iguales.

los residuos orgánicos en el suelo propician un ambiente mas favorable a la planta.

Rendimiento de grano.

En el Cuadro 3 se presenta la información referente al rendimiento de grano de cada tratamiento, en los tres años se aprecia que los mayores rendimientos corresponden al testigo de riego, es notable también la alta producción obtenida con la cobertura plástica, lo que indica su alta funcionalidad como material de conservación de agua, aun en los años de menor precipitación. Para los dos primeros años no se indica la prueba de medias debido al efecto oculto de densidad de población.

En 1990 el rendimiento fue superior en los tratamientos con acolchado plástico y

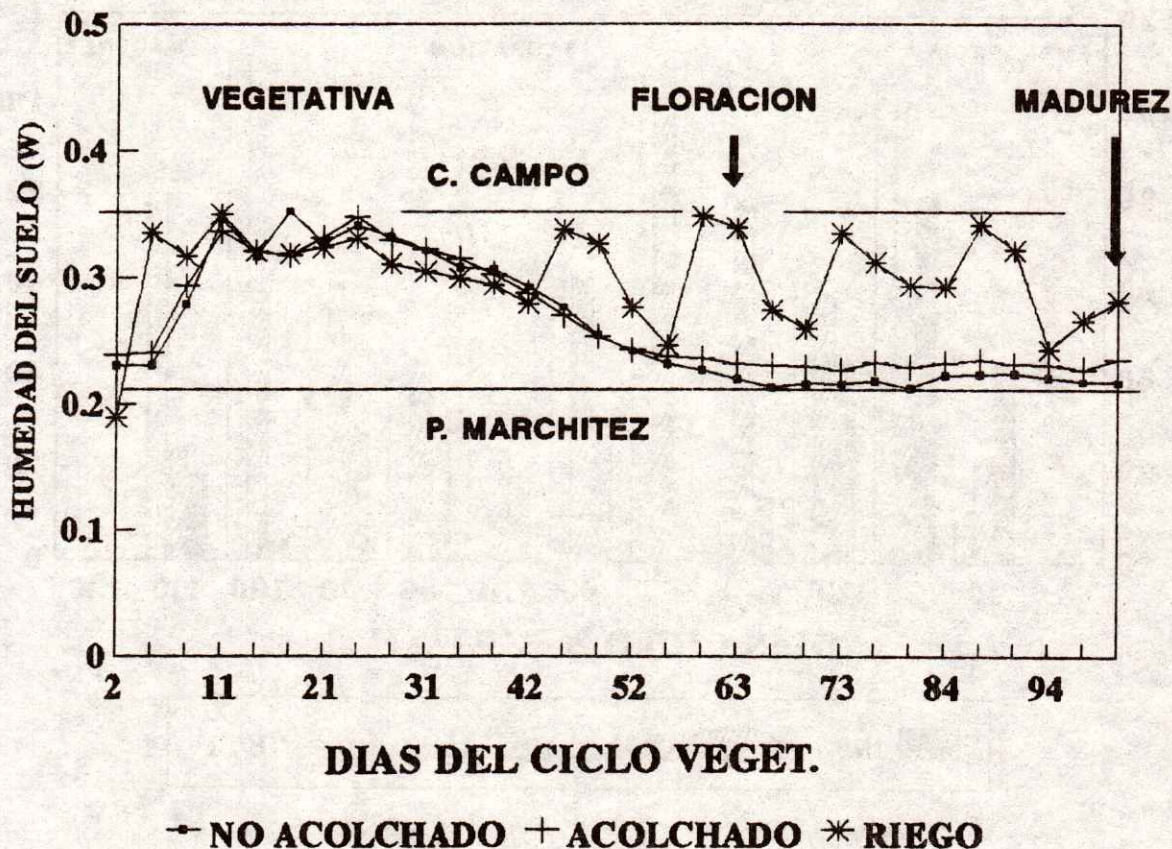


Figura 1. Precipitación y demanda evapotranspirativa registrada durante los años de estudio con captación de agua. Antúnez, Mich. 1990-1992.



Cuadro 3. Rendimiento de grano en maíz de temporal con captación de agua en el valle de Apatzingán. 1990-1992.

1990		1991		1992	
Trata- miento	Rendi- miento	Trata- miento	Rendi- miento	Trata- miento	Rendi- miento
	t ha <sup>-1</sup>		t ha <sup>-1</sup>		t ha <sup>-1</sup>
9	3.69	9	2.89	10	4.89a
2	2.07	7	2.49	7	4.73a
1	2.00	1	2.07	8	4.40a
3	1.68	4	1.96	4	4.11ab
8	1.54	8	1.91	5	3.56ab
6	1.47	5	1.86	1	3.53ab
5	1.28	2	1.44	2	3.33ab
4	1.25	6	1.30	3	2.98ab
7	1.14	10	1.28	6	2.96ab
		3	1.08	9	2.28 b
D.M.S. Duncan 5%					2.08

z Valores con la misma letra son estadísticamente iguales.

espaciamento a 0.80, 1.10 y 1.40 m, empero, la situación se revirtió para el espaciamento a 1.70 m. En 1991 los tratamientos con cobertura plástica fueron ligeramente superiores a la cobertura con rastrojo, pero sin respuesta constante; esto coincide con lo publicado por Tovar (1977), en el sentido de que el rendimiento decreció a medida que se incrementó el área de captación.

Las altas precipitaciones registradas en 1993 (Figura 1), permitieron obtener los más altos rendimientos de grano, en el periodo estudiado. No se observó diferencia estadística entre tratamientos de captación y conservación de agua, pero si un decremento en la producción a medida que el área de captación se incrementó (Cuadro 3).

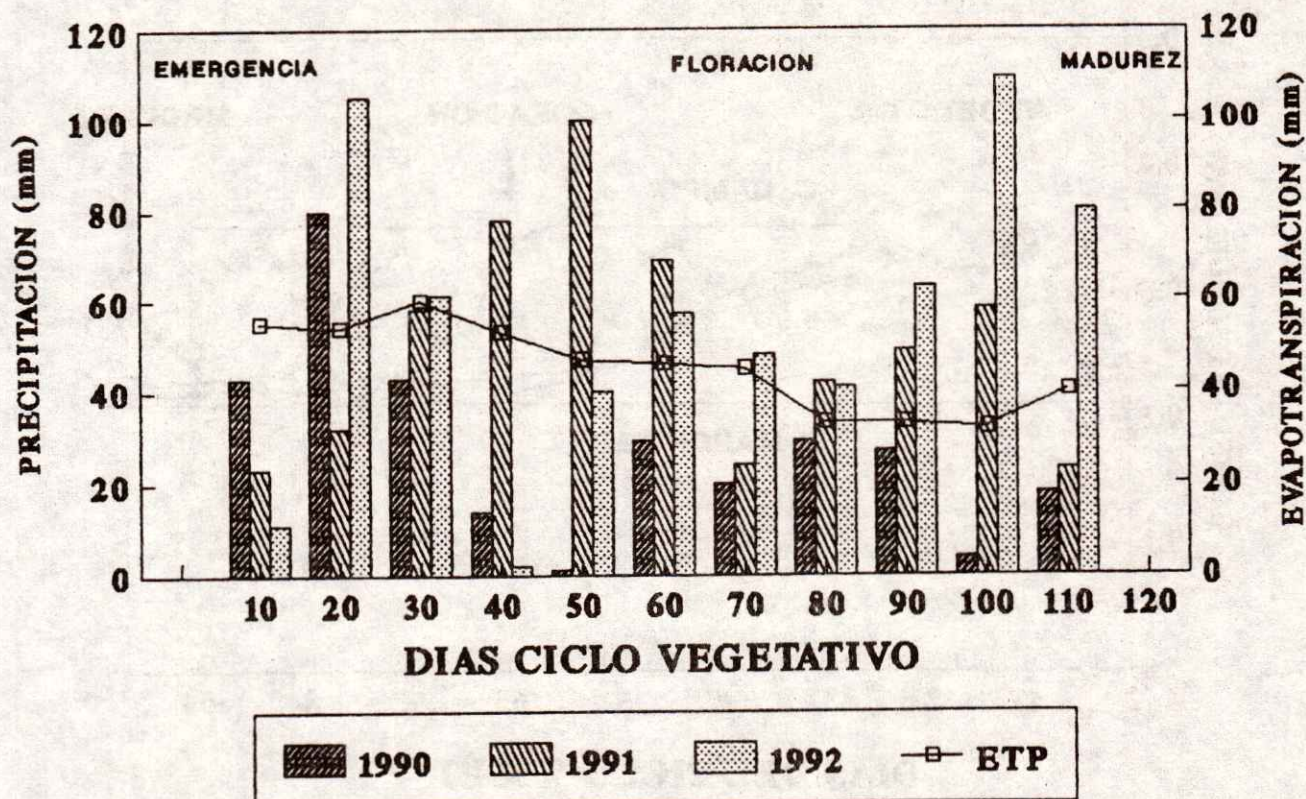


Figura 2. Humedad del suelo durante el ciclo de cultivo del maíz surcado a 0.80 m en tres tratamientos de manejo.



Los rendimientos obtenidos superan en todos los casos al rendimiento de maíz de temporal del valle de Apatzingán, debido principalmente a que, como lo demostraron estos experimentos, el productor regional no siembra en forma oportuna con el temporal y termina por abandonar al cultivo. Así, en el peor de los casos, con 300 mm de lluvia y una probabilidad de ocurrencia cercana a 90%, se tendría asegurada una producción de más de una tonelada de grano.

Las respuestas tan diferentes en rendimiento, en los tres años de estudio, sobre todo en el testigo de riego que debería ser el más uniforme, obedecieron a la condición del suelo ya que durante los tres años de estudio se eligieron los suelos de tres sitios con baja fertilidad, poco profundos y hasta con problemas de sales (el follaje demostraba con coloraciones amarillentas y achaparramientos esta condición) por ser suelos característicos del área de temporal del valle de Apatzingán. Además, si la técnica funciona en este tipo de suelos, debe funcionar necesariamente en suelos más favorables.

#### Humedad del suelo.

Debido a que sólo durante el año de 1990 se contó con una condición de sequía verdadera, en la Figura 2 se presenta la humedad del suelo durante este ciclo de cultivo, en tres tratamientos contrastantes: acolchado plástico, no acolchado y testigo de riego, surcados a 0.80 m. Se aprecia en forma clara que la humedad del suelo en el testigo de riego fue suficiente durante todo el ciclo de cultivo, mientras que el tratamiento sin acolchar no consiguió mantener suficiente humedad en el suelo por lo que estuvo durante más de 40 días cercano al punto de marchitez, lo cual influyó en el crecimiento y en el rendimiento.

La utilización del plástico en cobertura al suelo, propició menor pérdida de humedad en el tratamiento surcado a 0.80 m, por lo que no se mantuvo en marchitez permanente al cultivo durante más de 20 días que duró el cultivo sin recibir precipitación pluvial, esto coincide con lo señalado por Martínez (1991), para conservación de humedad por el acolchado plástico.

### CONCLUSIONES

1. Aun con escasa precipitación es posible obtener producción de grano de maíz bajo temporal (al menos 1.0 t ha<sup>-1</sup>), sin embargo, la diferencia es marcada respecto al acolchado y al riego.
2. El mejor material para conservación de agua es el acolchado plástico, no se encontró diferencia clara entre el estiércol y el rastrojo.
3. El área de captación debe oscilar entre 0.80 y 1.20 m ya que mayores distancias reducen el rendimiento.
4. Debido a las altas precipitaciones de los dos últimos años de estudio, sólo en el primer año se encontró respuesta al área de captación.

### LITERATURA CITADA

- ALCANTAR R., J.J. 1990. Probabilidad de lluvia para el área de influencia del Campo Experimental Apatzingán. p. 17. In: VIII Congreso Nacional ANEFA. Uruapan, Mich. México.
- CAMPOS, J.S. 1985. Microcuencas para captación *in situ* de lluvia en maíz-frijol de la Mixteca Oaxaqueña. Informe de Investigación, INIFAP (sin publicar).
- DENMEAD, O.T., and R.H. SHAW. 1962. The effects of soil moisture stress at different stages of growth on the development and yield of corn. *Agron. J.* 52: 272-273.
- DIEDRICK, A.R. 1973. Storage systems for harvested water. Water harvesting Symposium. Phoenix. USA. (sin publicar).
- DOORENBOS, J. y A.H. KASSAM. 1979. Efectos del agua sobre el rendimiento de los cultivos. FAO. Roma, Italia.
- LARA M., J.L. y L.M. JASSO M. 1989. Evaluación del estiércol de bovino en tres sistemas de captación de agua de lluvia para la producción de maíz de temporal. p. 204. In: Memoria del XXX Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo. Montecillo, Méx.
- MARTINEZ G., M.A. 1991. Respuesta del maíz H-204 al acolchado en un segundo ciclo de cultivo bajo condiciones de temporal en Aguascalientes. *Terra* 9: 145-149.
- RUIZ, V., J. y M. GARCIA C. 1989. Utilización de agrolásticos y microcuencas para la producción de maíz de temporal en los Valles Centrales de Oaxaca. p. 49. In: XXII Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo. Montecillo, Méx.
- SHAW H.R. 1990. El cultivo del maíz: requerimientos climáticos. In: Germen. SOMEFI. Chapingo, Méx.
- TOVAR S., J.L. 1977. Captación y aprovechamiento del recurso lluvia como una alternativa para la producción de grano y forraje de maíz en zonas de temporal deficiente. Tesis de Maestría. Colegio de Postgraduados, Chapingo, Méx.
- ZING, A.W., and U.L. HAUSER. 1959. Terrace benching to save potential runoff for semiarid land. *Agron. J.* 51: 289-292.



## ADELANTO DE LA COSECHA DE MANGO "HADEN" MEDIANTE MANEJO DE AGUA EN EL VALLE DE APATZINGAN, MICH.

Earlier Production of "Haden" Mango Through Water Management in the Valley of Apatzingan, Mich.

Luis Mario Tapia Vargas y Adrián Vega Piña

Campo Experimental Valle de Apatzingán. INIFAP.  
Apartado Postal 40, Apatzingán, Michoacán

*Palabras clave:* *Mangifera indica*, Producción temprana, Epoca de riego.

*Index words:* *Mangifera indica*, Early harvest, Irrigation timing.

### RESUMEN

El valle de Apatzingán ocupa el primer lugar en importancia a nivel nacional en el cultivo del mango debido a la calidad y a la cosecha temprana del fruto. Una de las principales metas del productor de la región, es tener fruto de corte entre los meses de febrero y abril, lo cual le permite obtener los más altos ingresos por unidad de superficie. Por lo tanto, el objetivo de este trabajo fue lograr el adelanto de la floración mediante el manejo del agua de riego. Para esto, desde agosto de 1991, se estableció un experimento en el municipio de Parácuaro, Mich., en una huerta de mango cv. Haden con una edad de 10 años. En 1991 se probaron dos tratamientos: 1) iniciar el riego y fertilizar en el momento de la madurez de la yema terminal (25 árboles en línea) y 2) testigo, que consiste en aplicar el riego y fertilizar hasta el amarre de fruto (17 árboles en línea). En 1992 se evaluaron cuatro períodos de sequía (15, 30, 45 y 60 días en líneas de

25, 25, 25 y 17 árboles, respectivamente) a partir del 15 de octubre, para aplicar el tratamiento de riego y fertilización ya señalado. El resto de labores culturales fue idéntico en todos los tratamientos, los dos años de estudio.

Los resultados obtenidos para 1991, a 50 días de la aplicación de los tratamientos, indican que la floración fue mayor en el Tratamiento 1, respecto al testigo (92% y 56%, respectivamente); la producción de fruto de exportación también fue mayor en el Tratamiento 1 (214 kg árbol<sup>-1</sup>), en comparación con 130 kg árbol<sup>-1</sup> del testigo. Para 1992, a 60 días de inicio de los tratamientos, la floración fue de 68, 77, 48 y 27% para los tratamientos 15, 30, 45 y 60 días de sequía, respectivamente; la producción de fruto a primer corte, en el mismo orden, fue de 197, 189, 167 y 100 kg árbol<sup>-1</sup>, respectivamente. Se concluye que es suficiente, en las condiciones del valle de Apatzingán, suministrar de 15 a 30 días de sequía al mango para mayor adelanto de la floración y la cosecha de fruto.

### SUMMARY

The Apatzingan valley ranks first in importance all over Mexico in mango production due to higher quality and earlier fruit harvest. The main goal of the local mango

Recibido 2-93.



grower is to harvest between February-April, because it means higher money income.

The purpose of this work was to achieve earlier flowering and yield through water management in respect to a regional control treatment. The work was conducted in the Paracuaro municipality, in a ten-year-old plantation, from August 1991 to 1993. Treatments in 1991 were: 1) irrigation and fertilization when the terminal buds matured (25 trees in line), compared with: 2) regional control (irrigation and fertilization supplied when fructification began in 17 trees in line). In 1992, from October 15, four drought periods were evaluated (15, 30, 45, and 60 days supplied to 25, 25, 25, and 17 line trees), irrigation and fertilization were applied when each drought period was completed. All other cultural practices were the same in both treatments.

Results indicate that in 1991, flowering percentage for 50 days of treatment application, are higher in Treatment 1 than control (96% and 56% respectively), exportation fruit production was also statistically higher in Treatment 1 than control (average of 214 and 130 kg tree<sup>-1</sup>, respectively). For 1992, 60 days after treatment application, flowering was 68, 77, 48 and 23% for 15, 30, 45 y 60 drought days, respectively, fruit production was 197, 189, 167, and 100 kg tree<sup>-1</sup>, respectively. It is concluded that it is enough, under the conditions of Apatzingan Valley, to apply from 15 to 30 day of drought to the mango orchards, in order to get earlier flowering and harvesting.

## INTRODUCCION

El mango es el cultivo de mayor importancia económica y social en el valle de Apatzingán, ya que es de las escasas actividades agropecuarias que aún reditúan ganancias económicas al productor, gracias a la alta calidad y sanidad del fruto y a su cosecha temprana, lo cual le permite llegar al mercado nacional y de exportación, en forma anticipada. Una de las principales metas del fruticultor es obtener fruta para corte entre los meses de febrero y abril, con el fin de alcanzar el más alto valor unitario en el mercado. La fruta cosechada después de este periodo presenta problemas de comercialización, debido a la competencia con

otras regiones productoras como Sinaloa, Nayarit, Veracruz, Oaxaca, etc. De acuerdo con Del Río (1992), los factores que intervienen en la producción temprana de fruto son: fertilización foliar y edáfica, manejo del agua de riego y podas.

De estos factores el segundo juega un papel sobresaliente, razón por la cual en este trabajo se tomó como factor de estudio, con los siguientes objetivos:

1. Lograr adelanto de la floración mediante el manejo adecuado del riego, respecto al manejo tradicional del productor, para obtener mayor producción de fruta de exportación en forma anticipada.
2. Cuantificar el periodo de deficiencia de agua que el mango requiere para lograr adelanto de la floración.

## REVISION DE LITERATURA

### Criterio de riego en el cultivo del mango.

A diferencia de los cultivos anuales, en árboles frutales no es recomendable detectar la falta de agua por el aspecto de las hojas, debido a que con frecuencia se produce un retraso en el crecimiento antes de manifestarse claramente los primeros síntomas de sequía; por lo tanto, es mejor hacer observaciones sobre el contenido de humedad del suelo (Thorne y Peterson, 1963).

De acuerdo con Morín (1967) y el Mango Committee (1978), la zona ideal para el cultivo del mango es el trópico seco; es decir, donde se presentan estaciones definidas de sequía y lluvia alternadas. Así mismo, es conveniente que la floración, cuajado, desarrollo y maduración del fruto sea sin lluvias; sin embargo, Morín (1967) comenta que la baja producción de mango se debe al mal manejo de los riegos, pues inciden notoriamente en la caída de flores y de fruto pequeño.

A pesar de que el mango se cultiva en áreas tropicales y lluviosas por naturaleza, Samson (1985) menciona que el periodo de lluvia que este cultivo requiere es variable ya que en lugares donde se cuenta con riego sólo se requieren cuatro meses de lluvia; si el periodo aumenta, disminuye la polinización y proliferan enfermedades fungosas.



El Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas (1981), en la región productora de la costa del Pacífico (Michoacán, Guerrero y Sinaloa), refiere que en, su mayoría, las plantaciones son relativamente nuevas y predominan cultivares monoembriónicos injertados, procedentes de Florida. Los problemas del mango en estas regiones son: alternancia de la producción, enfermedades como escoba de bruja y pudrición texana; además, en las áreas con época de sequía larga y definida, se maneja mal el agua de riego, lo que ocasiona un bajo prendimiento del fruto.

En relación con el tipo de suelo adecuado al cultivo, Uppal (1977) menciona que los suelos húmedos de régimen de agua frecuente, limitan el desarrollo del cultivo y que los suelos profundos, de lento secado durante la formación de fruto, son los idóneos para este frutal.

Respecto al suministro de riego al árbol, Leyveld y Oostrum (1978) indican que el intervalo de riego depende del clima y el tipo de suelo; en suelos pesados el riego cada 18 días es adecuado, pero en suelos ligeros, debe ser cada nueve días. Intervalos más largos producen formación de la enzima peroxidasa, lo cual incrementa la abscisión del fruto en las etapas tempranas de cuajado.

Por su parte, Wagner *et al.* (1984) señalan que árboles de mango irrigados a capacidad de campo a intervalos de siete días produjeron los más altos rendimientos ( $287 \text{ kg árbol}^{-1}$ ), mientras que con riego cada 14 ó 21 días rindieron  $177$  y  $96 \text{ kg árbol}^{-1}$ , respectivamente.

En plantaciones de México, Velasco (1975) y Chávez (1988) recomiendan como regla general, que el mango durante su primer año reciba riegos cada tres a quince días y, a partir del segundo año, cada 10 a 15 días, en la época seca. Para árboles en producción, el riego pesado no es aconsejable durante los dos o tres meses anteriores a la floración; el resto del año se aplica a intervalos de 8 y 15 días, a partir del amarre de fruto, hasta el sazónamiento. Con esto se ayuda a evitar la caída del fruto y a obtener mayor tamaño y calidad.

La Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos (1984), sugiere, para el valle de Apatzingán, iniciar los riegos en noviembre y

prolongarlos hasta febrero, cada 25 días y de marzo a julio cada 20 días.

#### Respuesta fisiológica del mango al riego.

Morín (1967) indica que de acuerdo con su lugar de origen, el mango reacciona con una profusa floración después de un período moderado de sequía, y prefiere ausencia de lluvia al inicio y formación de fruto.

Un efecto inmediato en el aumento del volumen de riego, es el incremento en el número de frutos por panícula: 0.4 para 0, 1.0 para 150 y 1.4 para 300 y 600 galones de agua por semana durante el primer mes de maduración del fruto (Lapade, 1977).

La presencia de sequía previa a la floración es una condición que, de acuerdo con Mosqueda (1989), el mango requiere por un período de dos a tres meses para lograr una profusa floración, sin embargo, para que esto suceda es necesario que los brotes sujetos a diferenciación floral alcancen un cierto grado de madurez. Mosqueda (1989) menciona las siguientes prácticas que, en determinadas condiciones, pueden provocar un adelanto de la floración: 1) ahumado del huerto, 2) aplicación de etileno y ethrel, y 3) aplicación de  $\text{KNO}_3$  y  $\text{NH}_4$ ; todas al follaje del árbol.

Al respecto, Chávez (1989), al comparar diferentes tratamientos foliares en mangos con bajos porcentajes de floración, obtuvo 100% de floración dos semanas después de las aplicaciones de  $\text{KNO}_3$ . Yaacob (1987) señala que el empleo de fertilizantes al suelo incrementó la productividad del árbol en periodos de sequía. El uso de inductor floral ( $\text{KNO}_3$ ), aumentó de 40 a 136 los frutos cosechados, mientras que el riego, desde la floración hasta la madurez del fruto, incrementó de 60 a 136 el número de frutos.

Respecto a la relación fertilizante, inductor y riego, Chávez (1988), encontró que el efecto es conjunto y que lo importante es la oportunidad en la aplicación de estas prácticas, para el logro de mayor producción y adelanto de la cosecha de 30 a 60 días.

#### MATERIALES Y METODOS

El experimento se estableció en la huerta "La Guadalupe" en el municipio de Parácuaro,



Mich., en los ciclos otoño-invierno de 1991-1992 y de 1992-1993. El clima del lugar, ubicado a 500 metros sobre el nivel del mar, es Aw1: cálido subhúmedo intermedio en humedad, con temperatura media anual de 25°C y precipitación de 800 mm, distribuida principalmente en los meses de junio a octubre, sin invierno definido y con menos de 5% de lluvia invernal. El suelo es arcilloso, con 0.80 m de profundidad, 225.6 mm de capacidad de almacenamiento de agua, pH de 7.8 y conductividad eléctrica de 2.8 dS m<sup>-1</sup>.

La huerta tiene una edad de 10 años, la variedad es Haden sobre portainjerto criollo regional. Generalmente el productor realiza dos fertilizaciones por año; al inicio de la floración con 120-80-80 (nitrato de amonio-superfosfato triple-sulfato de potasio) y al final de la cosecha con la dosis 80-20-0 (sulfato de amonio y superfosfato simple).

#### Tratamientos.

En 1991 los tratamientos consistieron en:

1. Aplicar el riego y fertilización (120-80-80) después del temporal, una vez observada la madurez de las yemas terminales en los brotes vegetativos de ese año.

A partir de este primer riego (Riego 1), se programó el riego a cada 20 días, con láminas de 30 cm hasta la madurez de cosecha (15 de marzo), por lo que se aplicó un total de seis riegos. El riego se suspendió en enero, ya que en ese mes se registró una precipitación de más de 300 mm.

2. Aplicar el riego tradicional del productor, el cual consiste en regar hasta el inicio de formación del fruto (mediados de diciembre). A partir de este primer riego se programaron riegos ligeros (30 cm) a cada 20 días; cuatro riegos en total hasta madurez de cosecha.

El resto de prácticas culturales (aplicación foliar de nitrato de potasio, fungicidas, insecticidas, etc.) fue el mismo en ambos tratamientos.

En 1992 se aplicaron cuatro tratamientos de sequía, una vez terminado el temporal (14 de octubre). Estos consistieron en: I) 15, II) 30, III) 45 y IV) 60 días sin riego, al término de los cuales se aplicó el riego y fertilización ya descrito (testigo).

Para este año se modificó el plan de riegos para efectuarlos cada 15 días con láminas de 20 cm, excepto el primer riego (lámina de 50 cm). Los de riegos aplicados en los Tratamientos I, II, III y IV, fueron 11, 10, 9 y 7, respectivamente, en el periodo del 15 de octubre al 20 de marzo.

El diseño experimental fue completamente al azar, con 25 árboles para el Tratamiento I en 1991 y 25 árboles para cada uno de los Tratamientos I, II y III en 1992, en ambos años el testigo se aplicó a 17 árboles (por la geometría de la huerta). Cada árbol fungió como una repetición.

#### Toma de Datos.

##### 1. Arbol.

- Porcentaje de floración (%F1). Mensualmente se tomó la parte proporcional del follaje cubierto con inflorescencias, de acuerdo con la metodología propuesta por Mosqueda (1991, comunicación personal).
- Rendimiento de fruto de calidad exportación (kg árbol<sup>-1</sup>).

##### 2. Del Suelo.

- Análisis físico y químico del suelo.
- Determinación de la humedad del suelo (w) antes y después de cada riego. (Sólo para 1991, por restricción económica).

##### 3. Riego.

- Número de riegos
- Volumen de riego (Vr)
- Lámina de riego

#### Análisis de la información.

Se realizaron los siguientes análisis:

1. Análisis de varianza del rendimiento de fruto.
2. Prueba de media del rendimiento y los porcentajes de floración (prueba de t).
3. Gráficos de la humedad del suelo para cada tratamiento
4. Eficiencia de riego (Ea) para 1991.



$$Ea = \frac{Lr}{Li} \times 100$$

donde:

Lr = lámina de riego

Li = lámina de agua infiltrada después de cada riego

## RESULTADOS Y DISCUSION

En el Cuadro 1 se presentan los registros de floración promedio obtenidos para cada tratamiento, en tres fechas de muestreo para los dos años de estudio. En 1991 el tratamiento de riego propuesto superó al testigo en el adelanto de la floración ya que al 5 de diciembre presentó 92% de floración, mientras que el testigo apenas tuvo 56% de floración, en promedio.

El adelanto de la floración logrado con la aplicación del riego respecto al testigo fue de gran importancia en este ciclo, debido a las precipitaciones fuera de temporada que se registraron en enero. Estas totalizaron más de 350 mm y perjudicaron la floración tardía del testigo, al tirar fruto pequeño, no así al Tratamiento I, en el cual no hubo daño aparente por encontrarse el fruto más desarrollado. Esta situación coincide con lo expuesto por Morín (1967), en relación con el efecto perjudicial de las lluvias en la etapa de cuajado del fruto.

En 1992 la floración se presentó 15 días más tardía por el retraso del temporal hasta el 14 de octubre, sin embargo, desde la primera fecha de muestreo hasta la última, se observó un gradiente de floración, donde los porcentajes de ésta del tratamiento, disminuyeron a medida que el período de sequía se incrementó. Así, cuando los Tratamientos I, II y III, presentaban total floración del árbol, el testigo alcanzaba sólo 70% de floración, valor estadísticamente diferente a los del resto de tratamientos (Cuadro 1).

En el Cuadro 2 se presenta la información referente al riego aplicado para cada tratamiento hasta la cosecha. De acuerdo con esta información para 1991, aun cuando el volumen de riego fue similar en ambos tratamientos (I y testigo), la diferencia en la respuesta del árbol se debió a la oportunidad del Riego 1, lo cual Mosqueda

Cuadro 1. Floración registrada para cada tratamiento, en mango. Parácuaro, Mich. 1991-1993.

Tratamiento	Fecha de muestreo <sup>a</sup>		
	Nov.16	Dic.5	Enero 9
	----- % -----		
1991			
I	35.2 a	92.7 a	23.0 b
Testigo	16.5 b	56.5 b	60.0 a
Trat.	Dic 7	Dic 16	Dic.31
1992			
I	54.3 a	68.3 a	87.3 a
II	53.8 a	77.6 a	98.6 a
III	24.1 b	47.8 b	89.8 a
IV	14.7 b	27.2 c	70.6 b
C. Var. (%)	46.7	23.9	12.5

<sup>a</sup> Valores con la misma letra son estadísticamente iguales.

Cuadro 2. Número y volumen de riego aplicado por tratamiento en mango Haden. Parácuaro 1991-1993.

Tratamiento	Núm. riegos	Volumen	Lámina de	Eficiencia de
			infiltración	aplicación
			cm	%
		L árbol <sup>-1</sup> sem <sup>-1</sup>		
1991				
I	6	638	43.5	51.1
Testigo	4	532	18.5	26.0
1992				
I	11	1 158	+	+
II	10	933	+	+
III	9	956	+	+
IV	7	823	+	+

+) No se evaluó.

(1989) señala como el estado fisiológico óptimo de la planta para dar fin al período de deficiencia hídrica y asegurar floración.

El volumen de riego aplicado de 630 litros por semana para el Tratamiento I y 530 litros para el testigo, fueron riegos ligeros a los cuales el árbol reaccionó con mayor producción que a los riegos pesados. Esto coincide con lo obtenido por Del Río (1992) en árboles adultos en plena producción.

Sin embargo, para 1992, al incrementar el número de riegos producto del manejo y de la ausencia de lluvias de invierno, se aplicaron más de 1100 litros por semana por árbol en el Tratamiento I, alrededor de 900 litros en los



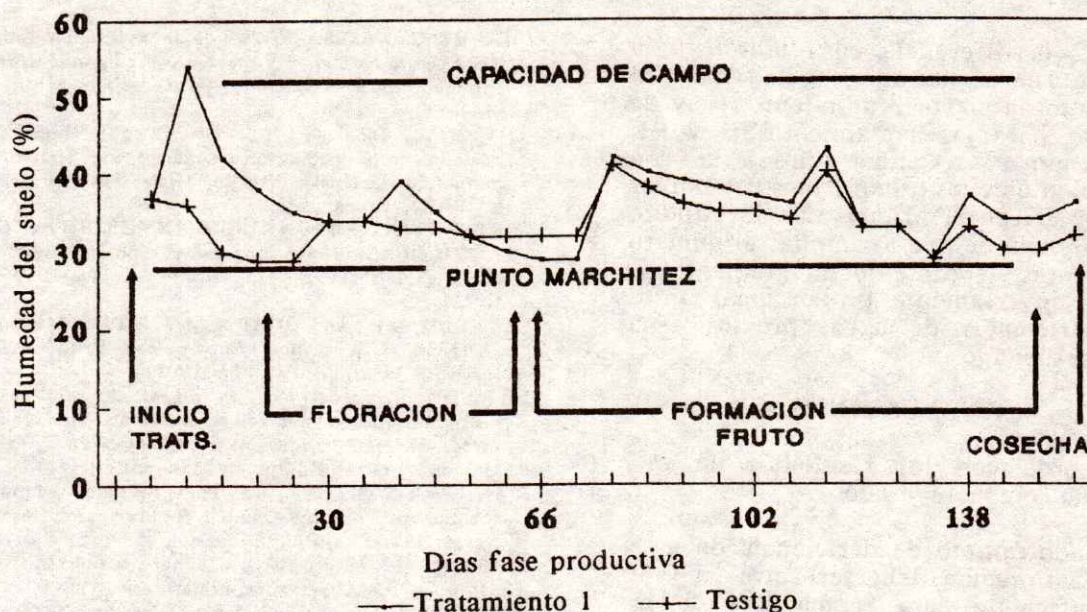


Figura 1. Humedad del suelo durante el período de estudio en los dos tratamientos de riego en Parácuaro, Mich. 1991-1992.

Tratamientos II y III, y 823 litros en el testigo, la diferencia de riegos entre el tratamiento más regado (I) y el testigo fue de cuatro.

El muestreo gravimétrico efectuado en el primer año, mostró que el Tratamiento I, conservó alta humedad aprovechable al inicio de la floración, mientras que en el testigo la humedad era cercana al punto de marchitez permanente (Figura 1), lo cual pudo retardar el brote de las inflorescencias.

En el Cuadro 3 se presenta la cantidad de agua aplicada en lámina a cada tratamiento, en 1991 existió una diferencia de sólo 300 mm en ambos tratamientos, por lo que la oportunidad del primer riego para el adelanto de la floración y la producción del Tratamiento I, con respecto al testigo, se reflejó en más de 84 kg de fruta de exportación.

Con el incremento en el número de riegos, en 1992 las láminas aplicadas en los cuatro tratamientos presentaron menos variabilidad, respecto al testigo, el que con sólo siete riegos, la lámina aplicada fue semejante a los 2580 mm aplicados en el Tratamiento I, por lo tanto, refuerza el sentido de la oportunidad del Riego I en los diferentes tratamientos (Cuadro 3).

Cuadro 3. Producción de fruto de exportación y lámina de riego por tratamiento en mango cv. Haden. Parácuaro, Mich. 1991-1993.

Tratamiento	Producción de fruto <sup>a</sup> kg árbol <sup>-1</sup>	Lámina de riego mm
<b>1991</b>		
I	214 a	1760
Testigo	130 b	1400
<b>1992</b>		
I	197 a	2580
II	189 a	2217
III	167 a	2236
IV	100 b	2489
C. Var. (%)	25.2	

<sup>a</sup> Primer corte; valores con la misma letra son estadísticamente iguales.

En 1991, la producción de fruto fue mayor estadísticamente, en el Tratamiento I. En el testigo se produjeron 214 kg de fruto de exportación por árbol, mientras que el testigo del productor sólo produjo 130 kg de fruto árbol<sup>-1</sup>. Esta diferencia de casi 85 kg, al precio pagado en la huerta, significa alrededor de N\$300.00 por árbol.



En 1992 la diferencia en rendimiento a primer corte fue de más de 97 kg de fruto para el tratamiento de mayor rendimiento (I), y de 89 y 67 kg para los Tratamientos II y III, respectivamente. La tendencia en comportamiento de los tratamientos fue similar a la encontrada en el primer año de estudio, con la diferencia de que al ampliar el número de tratamientos, se presentó un gradiente de producción inversamente proporcional a los días de deficiencia de agua, previos a la floración del mango.

### CONCLUSIONES

De acuerdo con los resultados de este experimento se concluye que:

1. El período óptimo de deficiencia de agua previa a floración debe ser entre 15 y 30 días, suficiente para la madurez de las yemas y propiciar el brote floral.
2. La diferencia en la producción de fruto y adelanto de la floración se debió, fue debida más que a la cantidad de agua aplicada, a la oportunidad de la aplicación del riego.
3. Se logró adelantar la floración en 30 días con respecto al manejo del productor, lo que permitió tener mayor cantidad de fruta al primer corte, y por consiguiente mayor ingreso económico.

### LITERATURA CITADA

- CHAVEZ C. X. 1988. Tecnología para producir mango, *Mangifera indica*, en el Valle de Apatzingán. SARH. INIFAP. CEFAP "Valle de Apatzingán". Folleto Técnico No. 6. Apatzingán, Mich.
- CHAVEZ C. X. 1989. Efecto de la aplicación foliar de  $KNO_3$  en mango en el Valle de Apatzingán. Informe de Investigación. INIFAP. Apatzingán, Mich. (sin publicar).
- RIO, R.V., DEL. 1992. Efecto del riego en el adelanto de la producción de mango, var. Haden, en el municipio de Nuevo Urecho, Mich. Tesis profesional. UMSNH. Uruapan, Mich.
- INSTITUTO NACIONAL DE INVESTIGACIONES AGRICOLAS. 1981. Logros y aportaciones de la investigación agrícola en frutales tropicales. México, D.F.
- LEYVELD, L.V., and OOSTRUM T.J. 1978. Mango fruit abscission. Citrus and Subtropical Fruit Research Institute. Inform Bulletin 65: 15-30.
- LAPADE, L.V. 1977. The physical, mineral and hormonal changes in development carabao mango. Fruit under different irrigation treatments. Thesis Ph. D. University of the Philippines. Manila, Phil.
- MANGO COMMITTEE. 1978. The Philippines recommends for mango. Philippine Council for Agr. and Resources. Research Manila, Philippines.
- MORIN, C.H. 1967. Cultivo del mango. Boletín Técnico. Ministerio de Agricultura. Lima, Perú.
- MOSQUEDA, V.R. 1989. Sistemas de producción forzada en frutales tropicales: revisión en piña y mango. En producción forzada en frutales. C.P. Chapingo, Méx.
- SAMSON, J.A. 1985. Frutales tropicales. Ed. LIMUSA. México, D.F.
- SECRETARIA DE AGRICULTURA Y RECURSOS HIDRAULICOS. 1984. Resúmenes analíticos de mango I y II. Folleto Informativo 2: 96-111.
- THORNE, D.W. y PETERSON, H.B. 1963. Técnica del riego. Fertilidad de los Suelos. Ed. Continental. México, D.F.
- UPPAL, D.K. 1977. Mango growing in Zambia. pp. 12-17. In: Proceedings of the Seminar Lusaka, Zambia National Council for Scientific Research.
- VELASCO, C.J. 1975. El mango en México: descripción, cultivo, mejoramiento y utilización. Comisión Nacional de Fruticultura. México, D.F.
- WAGNER, M., M. FIGUEROA, and G. LABOREM. 1984. Effect of three irrigation frequencies on the performance of mangoes, cv Kent. FONAIAP. CENIAP. Maracay, Venezuela.
- YAACOB, O. 1987. The influence of chemicals and moisture on the yield of mango in northern Malaysia. Univ. Pertanian. Serdang, Malaysia.10: 1645-1649.



**COMPARACION ENTRE DIAS, UNIDADES CALOR Y LA  
EVAPOTRANSPIRACION POTENCIAL EN LA PREDICCIÓN DE  
EVENTOS FENOLOGICOS EN EL ALGODONERO**

Comparison Between Days, Growing Degree Days and Potential  
Evapotranspiration in the Phenological Stages in Cotton

Claudio Godoy Avila e Isidro Reyes Juárez

CIFAP-Región Lagunera, Apartado Postal 247  
27000 Torreón, Coah., México

*Palabras clave:* Unidades calor, Evapotranspiración potencial, Flores, Apertura de bellotas, Algodón.

*Index words:* Degree-days, Potential evapotranspiration, Blooming, Bolloping, Cotton.

**RESUMEN**

Durante 1991 se desarrolló un estudio cuyo objetivo principal fue el de comparar los días, las unidades calor (UC) y evapotranspiración potencial (ETp) en la predicción de inicio de cuadros, flores y apertura de bellotas. Se usaron datos de estudios realizados por diferentes investigadores en diferentes disciplinas (riegos, poblaciones de plantas, arropados, etc.) en un período de trece años. En cada uno de estos trabajos se consideró la fecha de siembra, inicio de cuadros, flores y apertura de bellotas. Todos estos datos se relacionaron con días, unidades calor y evapotranspiración potencial.

De los tres parámetros comparados, la ETp fue la que presentó un menor coeficiente de variación, por lo cual se considera que ésta

es una herramienta de mayor valor predictivo que las unidades calor y los días.

**SUMMARY**

In 1991 a study was conducted which main objective was to compare days, growing degree days and potential evapotranspiration (ETp) in predicting the initial time of squares, blooming and bolls opening in cotton. Data from experiments in different disciplines (irrigation, plant populations, mulching, etc.) were used in a 13 year period. In each work the planting date, the initial time and the rate of square, blooming and boll opening was considered. These data were related with days, growing degree days and potential evapotranspiration.

It was found that the ETp showed the lowest variation coefficient of the three parameters, and for this reason it is considered as a tool of higher predictive value than the growing degree days and days.

**INTRODUCCION**

El método de unidades calor en su forma simple: se define como la temperatura media diaria reducida por una temperatura base, arriba de la cual presumiblemente la actividad biológica ocurre. Supone que el desarrollo de

Recibido 01-93.



la planta es linealmente dependiente de la temperatura arriba de un valor crítico. Por consiguiente, será posible predecir las fases fenológicas al integrar las unidades calor durante el ciclo vegetativo. Se ha tratado de mejorar el poder predictivo del método de unidades calor (Rickman *et al.*, 1975), usando relaciones tales como el índice de temperatura de Rickman que usa un exponencial negativo de la diferencia entre la temperatura del aire y un valor de temperatura óptimo; otros han adaptado funciones de temperatura específica por cultivo, por ejemplo, Brown (1975) con maíz. El número de índices que han sido desarrollados es impresionante existen al menos 22 métodos para predecir las fechas de floración del maíz (Cross y Zuber, 1972). A pesar del gran número de índices derivados, las unidades calor en su forma más simple son todavía el método que más ampliamente se usa (Nield *et al.*, 1978). La principal debilidad de este método radica en su simplicidad y en que ignora las interacciones entre los factores ambientales determinantes para la producción de los cultivos. El método ha probado ser más preciso que los días julianos, a pesar de todas las críticas que rodean a su base científica. Por otro lado, ha sido establecido que la evaporación registrada en un tanque evaporímetro es más extrapolable que el tiempo expresado en días (Hernández, 1989), además de la alta correlación que tiene con la evapotranspiración de los cultivos, la cual, a su vez, correlaciona linealmente con la producción de materia seca total de las plantas (Hanks y Retta, 1980; De Witt, 1958).

Debido a lo anterior, la evapotranspiración potencial que involucra además de la

temperatura del aire a la radiación solar, humedad relativa y velocidad del viento, se pudiera convertir en una herramienta de mayor precisión que las unidades calor. En relación con este planteamiento, el objetivo del presente estudio fue comparar los días, las unidades calor y la evapotranspiración potencial en la predicción de inicio de cuadros, flores y apertura de bellotas en el algodnero.

## MATERIALES Y METODOS

El presente estudio se realizó en las instalaciones del Centro de Investigaciones Forestales y Agropecuarias (CIFAP) de la Comarca Lagunera. Las variedades de algodnero usadas fueron: Deltapine 80, Laguna 89 y CIAN PRECOZ. Para la comparación de unidades calor, evapotranspiración y días, se usaron datos de estudios realizados en diferentes disciplinas (riegos, poblaciones de plantas, arropados, etc.) en un periodo de trece años (Cuadro 1). En cada uno de estos trabajos se consideró: la fecha de siembra, inicio de cuadros, flores y capullos. Es necesario mencionar que en el estudio de Alvarez (1982) referente al número de riegos en el cv. Deltapine 80 (Cuadro 2), no se midió el inicio apertura de bellotas y es por ello que no se muestran en el Cuadro 4.

Para la determinación de las unidades calor se utilizó la metodología curva-seno modificada de Allen (1976), mediante la siguiente fórmula:

**Cuadro 1. Estudios fenológicos considerados para comparación de días julianos, unidades calor y evapotranspiración. CAELALA-INIFAP. 1979-1991.**

Estudio	Variiedad	Tipo de estudio	Año	Autor(es)
1	DP-80	Población plantas y No. de riegos de auxilio	1979	Alvarez, R.V.P.
2	DP-80	Remoción manual de follajes	1981	Nava, C.U.
3	DP-80	Tensiones de humedad del suelo	1981	Alvarez, R.V.P.
4	DP-80	Número de riegos	1982	Alvarez, R.V.P.
5	DP-80	Remoción follaje y fructificaciones	1982	Nava, C.U. y Byerly M.
6	DP-80	Hormonas-apertura de bellotas	1985	Moreno, A.L.E.
7	DP-80	Arropado de plástico	1985	Moreno, A.L.E.
8	DP-80	Intervalos de riego	1986	Godoy A.C. y Palomo G.A.
9	DP-80	Inicios e intervalos de riego	1991	Godoy A.C. y Palomo G.A.
10	Laguna 89	Inicios e intervalos de riego	1989	Godoy A.C. y Palomo G.A.
11	Laguna 89	Inicios e intervalos de riego	1991	Godoy A.C. y Palomo G.A.
12	CIAN PRECOZ	Inicios e intervalos de riego	1990	Godoy A.C. <i>et al.</i>
13	CIAN PRECOZ	Inicios e intervalos de riego	1991	Godoy A.C. <i>et al.</i>



$$UC = 1/2 (F - K_1)$$

donde:

UC = Unidades calor (h).

F = Temperatura promedio (temp. máxima + temp. mínima/2) en °C.

K<sub>1</sub> = Temperatura crítica inferior para la especie que está siendo considerada en °C.

Las temperaturas límite de crecimiento para el algodón fueron: límite inferior 12°C y límite superior 38°C (Robles, 1980).

La evapotranspiración potencial se obtuvo a partir de la siguiente relación:

$$ETp = E_o \times K_T$$

donde:

ETp = Evapotranspiración potencial (mm/día).

E<sub>o</sub> = Evapotranspiración real desde el evaporómetro (mm/día y representa el valor promedio diario del período considerado).

K<sub>T</sub> = Coeficiente del evaporómetro.

En el presente estudio, y en función de la localización del evaporómetro, de las condiciones de humedad relativa promedio y de la velocidad del viento que prevalecieron durante el desarrollo de los experimentos, el valor del K<sub>T</sub> usado para estimar ETp varió de 0.75 a 0.80 (Doorenbos y Pruitt, 1975).

Para la comparación de los tres métodos se usó el coeficiente de variación (C.V.) el cual es un parámetro usado en experimentos con el fin de evaluar resultados de diferentes experimentos que involucran el mismo carácter, posiblemente conducidos por diferentes personas (Steel y Torrie, 1960). El coeficiente de variación se define como la desviación estándar de la muestra expresada como porcentaje de la media de la muestra y se calcula con la siguiente ecuación:

$$C.V. = \frac{(100)(S)}{X}$$

donde:

C.V. = Coeficiente de variación (%)

S = Desviación estándar de la muestra

X = Media de la muestra

## RESULTADOS Y DISCUSION

En los Cuadros 2, 3, y 4, se muestran los datos de inicio de cuadros, flores y apertura

de bellotas, expresados en días después de la siembra (dds), unidades calor, y evapotranspiración potencial. Se puede observar, que el inicio de estos eventos para los tres cultivares en los experimentos realizados en 1991 (Estudios 9, 11 y 13) fueron iguales. Es decir, el inicio de cuadros se presentó a los 43 dds y a las 564.91 UC y a los 342.57 mm de la ETp; mientras que el inicio de apertura de capullos se presentó a los 111 dds, 1588 UC y a los 913.8 mm de ETp. Referente al inicio de floración, se presentaron diferencias de 1 a 2 días, de 10 a 52 UC, y de 13 a 18.4 mm de la ETp, entre el cv. Laguna 89 que inició la floración más pronto y los cultivares CIAN PRECOZ y Deltapine 80 que lo iniciaron un poco más tarde. Aparentemente estas diferencias no fueron muy grandes, por lo que se puede decir que los tres cultivares tienen un comportamiento igual en los tres inicios ya mencionados, aun cuando existe un estudio (Palomo, 1990) en el que se menciona que en el cv. CIAN PRECOZ, los inicios de cuadros, flores y capullos son más temprano que en los cultivares Laguna 89 y Deltapine 80. Es necesario mencionar, que en este estudio se compararon los tres cultivares cuando los inicios de floración y apertura de bellotas tenían ya cierto grado de adelanto (10-15% de floración y 15-20% de apertura de bellotas) y efectivamente para este tiempo, los valores fueron más altos en el cv. CIAN PRECOZ que en Laguna 89 y DP 80; lo cual significa

Cuadro 2. Inicio de aparición de cuadros en días después de la siembra, unidades calor y evapotranspiración en el algodón. CAELALA-INIFAP. 1979-1991.

Estudio	Inicio de cuadros		
	Días después de la siembra	Unidades calor	Evapotranspiración
			mm
1	44	533.10	342.15
2	48	506.64	343.20
3	48	506.64	342.35
4	44	557.40	349.27
5	46	490.34	346.09
6	48	597.30	343.67
7	49	516.76	346.26
8	41	478.83	340.32
9	40	484.67	345.78
10	48	483.51	347.16
11	43	564.91	342.57
12	43	564.91	342.57
13	43	564.91	342.57
C.V. (%)	8.67	6.42	1.35



que la dinámica de producción de flores y capullos, más que los inicios, es más intensa en el cv. CIAN PRECOZ que en los otros dos cultivares.

En la información presentada en los Cuadros 2, 3 y 4 se observa que el inicio de cuadros

**Cuadro 3. Inicio de aparición de flores en días después de la siembra, unidades calor y evapotranspiración en el algodónero. CAELALA-INIFAP. 1979-1991.**

Estudio	Inicio de floración		
	Días después de la siembra	Unidades calor	Evapotranspiración
			mm
1	61	735.34	471.41
2	62	727.75	477.40
3	66	836.99	471.36
4	57	777.13	479.86
5	57	676.07	789.58
6	65	723.15	486.26
7	48	676.65	508.93
8	59	767.58	504.98
9	54	699.57	480.27
10	58	754.90	474.32
11	57	777.43	474.46
12	59	787.18	487.12
13	60	839.45	485.26
<b>C.V. (%)</b>	<b>7.57</b>	<b>6.02</b>	<b>2.43</b>

**Cuadro 4. Inicio de apertura de bellotas en días después de la siembra, unidades calor y evapotranspiración en el algodónero. CAELALA-INIFAP. 1979-1991.**

Estudio	Inicio de apertura de bellotas		
	Días después de la siembra	Unidades calor	Evapotranspiración
			mm
1	109	1908.0	1129.1
2	113	1386.0	930.8
3	117	1507.5	991.5
4	123	1541.2	1120.9
5	114	1665.6	1163.9
6	110	1505.0	1133.5
7	129	1673.1	1078.0
8	109	1600.5	978.5
9	127	1554.3	940.7
10	111	1588.3	913.8
11	111	1588.3	913.8
12	111	1588.3	913.8
13			
<b>C.V. (%)</b>	<b>7.19</b>	<b>7.03</b>	<b>8.08</b>

en los trece experimentos varió en nueve días, 118.2 UC y 17.84 mm de la ETP. El inicio de floración varió en 18 días, 163 UC y 34.6 mm de la ETP; mientras que el inicio de apertura de bellotas varió en 20 días, 522 UC y 245 mm de la ETP. Esto indica que a medida que se avanza en el ciclo del cultivo la variación que se tiene en la acumulación de las unidades calor, ETP y días después de la siembra es más alta, y alcanza su máxima variabilidad en el inicio de apertura de bellotas, debido a que este evento es afectado en forma considerable por la humedad del suelo, insolación y temperatura del aire.

Los tres parámetros considerados presentaron distintos niveles de variabilidad (expresado por el coeficiente de variación) a través de las etapas fenológicas estudiadas. Los resultados con menor variación correspondieron a la ETP con coeficientes de 1.35, 2.43 y 8.08% para los eventos de inicio de cuadros, flores y apertura de bellotas, respectivamente. En relación con lo anterior, Miyamoto (1983), en un estudio sobre riegos en el nogal realizado durante los años de 1972, 1973 y 1981, determinó que las UC acumuladas durante el ciclo fueron 1970, 1340 y 1520, respectivamente, mientras que la ETP acumulada fue de 1360, 1330 y 1370 mm; el coeficiente de variación estimado para estos datos fue de 6.4 y 1.5% para unidades calor y ETP, respectivamente. Este estudio, aun cuando no se hizo con el propósito de comparar estos dos parámetros, demuestra, al igual que en el presente estudio, que la ETP presenta menos variación que las unidades calor para predecir eventos fenológicos.

En el Cuadro 5 se muestran los dds, UC y la ETP promedio necesario para que sucedan los eventos de inicio de cuadros, flores y apertura de bellotas. No se observa diferencia en los dds y en la ETP para el inicio de cuadros y flores para los tres cultivares. Las unidades calor para estos dos eventos presentaron más variación entre cultivares ya que las UC requeridas para que sucedan estos dos eventos fueron similares en Deltapine 80 y Laguna 89, e inferiores a las detectadas para CIAN-PRECOZ. Al respecto, Nava y Byerly (1990) determinaron las UC para estos eventos en el cv. Deltapine 80; éstas fueron de 474 y 827 para inicio de cuadros y flores, respectivamente. Como se puede ver, estos valores difieren un poco a lo encontrado en el presente estudio, lo cual pudo deberse a la definición de las fechas del inicio de



estos eventos. Por otro lado, en lo que se refiere al inicio en la apertura de bellotas, se presentó poca variación entre cultivares en relación con los dds y UC y una alta variación entre cultivares en la ETp. Actualmente no existe ningún estudio en este cultivo con el que se puedan comparar los valores de ETp encontrados en el presente experimento. Todo lo discutido anteriormente demuestra que dependiendo del parámetro que se use para caracterizar la fenología de diferentes cultivares, se puede o no detectar diferencia entre estos; sin embargo, debido a que la ETp ha mostrado menos variación para predecir los eventos de inicio de cuadros y flores, además de que tiene un mayor valor predictivo que las unidades calor y días, podríamos decir que de acuerdo con la ETp no existen diferencias entre los tres cultivares en el comportamiento de los dos eventos antes mencionados.

**Cuadro 5. Etapas fenológicas de tres cultivares de algodón expresadas en días después de la siembra, unidades calor y evapotranspiración potencial. CAELALA-INIFAP. 1979-1991.**

Parámetro	Cultivar	Cuadros	Flores	Capullos
DDS	Deltapine 80	45	59	116
	Laguna 89	46	58	119
	CIAN-PRECOZ	43	60	111
UC	Deltapine 80	519	736	1598
	Laguna 89	524	766	1571
	CIAN-PRECOZ	564	813	1588
ETp	Deltapine 80	344	486	1066
	Laguna 89	345	474	927
	CIAN-PRECOZ	343	486	914

DDS = Días después de la siembra; UC = Unidades calor; ETp = Evapotranspiración potencial.

La variación detectada en los tres cultivares, en relación con el inicio en la apertura de bellotas, hace suponer que el cv. CIANPRECOZ inicia más temprano este evento; sin embargo, es necesario mencionar que, además de la influencia que tiene la temperatura e insolación en el inicio de la apertura de bellotas, la fecha de aplicación del último riego de auxilio también influye de manera muy importante en el inicio de este evento (Godoy y Palomo, 1986; 1991); a medida que se retrasa la fecha de aplicación del último riego de auxilio, e independientemente del cultivar, se retrasa la fecha de inicio de apertura de las bellotas.

## CONCLUSIONES

De los tres parámetros comparados para la predicción de los eventos de inicio de cuadros, flores y apertura de bellotas en el algodón, la evapotranspiración potencial (ETp) fue la que presentó un menor coeficiente de variación. Por consiguiente, la evapotranspiración potencial es una herramienta de mayor valor predictivo que las unidades calor y días julianos usados tradicionalmente. Los valores de ETp promedio a los cuales se presenta el inicio de cuadros, flores y apertura de bellotas se presentó una variación más alta en los tres métodos comparados debido a que ésta depende más de la fecha de aplicación del último riego de auxilio, del cultivar usado, la temperatura y la insolación.

## LITERATURA CITADA

- ALLEN, J.C. 1976. A modified sine wave method for calculating degree days. *Env. Ent.* 5: 388-396.
- ALVAREZ R., V.P. 1979. Efecto de la población de plantas y número de riegos de auxilio sobre el desarrollo y rendimiento del algodón. Informe de Investigación. CIANE. pp. 80-92.
- ALVAREZ R., V.P. 1981. Influencia de la tensión del agua sobre la fenología rendimiento y calidad de fibra del algodón. Informe de Investigación en Algodonero. CIANE. pp. 500-562.
- ALVAREZ R., V.P. 1982. Efecto del número de riegos y época de aplicación sobre el desarrollo, rendimiento y calidad de fibra del algodón. Informe de Investigación. CIANE. pp. 461-492.
- BROWN, D.M. 1975. Heat unit for corn in southern Ontario. Ontario Min. Agric. Food Fact Sheet AGDEX 111/31. Order No. 075-077.
- CROSS, H.Z., and M.S. ZUBER. 1972. Prediction of flowering dates in maize based on different methods of estimating thermal units. *Agron. J.* 64: 351-355.
- DEWITT, C.T. 1958. Transpiration and crop yields. Versl. Lanabouwk onderz. 64.6 88 P. Institute of Biological and Chemical Research on Field Crops and Herbage. Wageningen, The Netherlands.
- DOORENBOS, J. Y PRUITT, W.P. 1975. Guidelines for predicting crop water requirements. Irrigation and drainage paper 24. FAO, Rome.
- GODOY A., C. y A. PALOMO G. 1986. Inicios e intervalos de riegos en el cultivar Deltapine 80. Informe de Investigación (En prensa). CAELALA.
- GODOY A., C. y A. PALOMO G. 1989. Inicios e intervalos de riegos en el Cv. Laguna 89. Informe de Investigación (En prensa). CAELALA.
- GODOY A., C., S. GODOY A. y E.A. GARCIA C. 1990. Inicios de riegos e intervalos de riego en el cultivar CIAN PRECOZ. Informe de Investigación en Algodonero (En prensa). CAELALA.



- GODOY A., C. y A. PALOMO G. 1991. Requerimientos de agua en el algodón para los cv. Deltapine 80 y Laguna 89 bajo diferentes niveles de humedad. Informe de Investigación. Centro de Investigaciones Forestales y Agropecuarias de la Comarca Lagunera (En prensa). CAELALA.
- GODOY A., C., S. GODOY A. y E.A. GARCIA C. 1991. Inicios de intervalos de riego en el cv. CIAN PRECOZ. Informe de Investigación (En prensa). CAELALA.
- HANKS, R.J., and A. RETTA. 1980. Water use and yields relations for alfalfa. Utah Agric. Exp. Stn. Bull. 506: 1-4.
- HERNANDEZ Y., C. 1989. Necesidades de agua de nueve cultivos en la Región Lagunera. Informe de Investigación. Vol. 3: 125-140. CENID-RASPA.
- MIYAMOTO, S. 1983. Consumptive water use of irrigation pecans. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 108: 676-681.
- MORENO A., L.E. 1985. Evaluación de PREP-500 en algodón para alcanzar la apertura de bellotas. Informe de Investigación. pp. 140-148. CAELALA.
- NAVA C., U. 1981. Remoción manual de follaje al algodón en la Comarca Lagunera. Informe de Investigación. CAELALA.
- NAVA C., U. y K.F. BYERLY M., K.F. 1982. Respuesta del algodón a remociones manuales de follaje y fructificaciones en la Comarca Lagunera. Informe de Investigación. pp. 37-62. CAELALA.
- NAVA C., U. y K.F. BYERLY M. 1990. Predicción de las principales plagas del algodón, mediante acumulación de unidades calor. Campo Agrícola Experimental de La Laguna. Publicación Especial No. 32: 87-114.
- NIELD, R.E., M.W. SEILEY y N.H. RICHMAN. 1978. The computation of agriculturally oriented normals from monthly climatic summaries. Agric. Meteorol. 19: 181-197.
- PALOMO G., A. 1990. Fenología de fructificación de algodón Laguna 89. p. 93. In: Resúmenes XIII Congreso Nacional de Fitogenética. Cd. Juárez, Chih., México.
- RICKMAN, R.W., R.E. RAMING y R.R. ALLMARES. 1975. Modelling dry matter accumulation in dryland winter wheat. Agron. J. 67: 283-289.
- ROBLES, S.R. 1980. Producción de oleaginosas y textiles. Editorial Limusa. México.
- STEEL, G.D.R., and G.J. TORRIE. 1960. Principles and procedures of statistics. McGraw-Hill Book Company. London.



## DESASIMILACION DE FOSFORO EN TRECE COLECTAS MEXICANAS DE *Azolla*

Phosphorus Disassimilation in 13 Mexican Collections of *Azolla*.

Andrés Ortiz-Catón, Roberto Quintero Lizaola  
y Ronald Ferrera-Cerrato

Laboratorio de fijación Biológica, Sección de Microbiología,  
Centro de Edafología, Colegio de Postgraduados. C.P. 56230  
Montecillo, Edo. de México.

*Palabras clave:* *Azolla*, desasimilación.

*Index words:* *Azolla*, disassimilation.

por lo que se puede usar *Azolla* recargada como inóculo cuando en el medio natural se tenga deficiencia de fósforo.

### RESUMEN

Considerando que el fósforo es uno de los factores más limitante del crecimiento de *Azolla* y la importancia del helecho como abono verde, se investigó la capacidad y el período de descarga de P en 13 colectas mexicanas de *Azolla*. Se encontró que existe diferente tolerancia a la deficiencia de P entre las colectas, y que se presentaron diferentes síntomas visuales de deficiencia, como son: coloración rojiza, abundantes raíces, disminución de la consistencia de las frondas y pobre crecimiento después de 15 días; la descarga de P en este período fue de aproximadamente 75 % de la concentración inicial. En algunas colectas (MO, XO, TO) la descarga fue lenta, lo cual efectuó severamente el crecimiento. En otras, aparentemente de cierta tolerancia, la descarga de P fue más rápida, pero en un período más amplio. La colecta que tuvo más bajo consumo de P fue la MO. La asociación (*Azolla-Anabaena*) puede acumular hasta seis veces más del P requerido para su desarrollo,

### SUMMARY

Taking into account that phosphorus is one of the most limiting factors on *Azolla* growth and the importance of the aquatic fern used as green manure, the capacity and disassimilation period of phosphorus in 13 *Azolla* mexican collections were evaluated. Different tolerance to phosphorus deficiency was observed among the *Azolla* collections, showing different visual deficiency, symptoms such as: reddish coloring, abundant roots and a decrease in the fern leaf consistence. In addition, the *Azolla* growth was poor after 15 days. At this time, the discharge of P was approximately 75% compared with the initial concentration. In some collections (MO, XO, TO) the disassimilation was slow, severely affecting the growth. In others, apparently tolerant, the discharge of P was faster, but in a longer period. The collection with the lowest phosphorus consumption was the MO. The *Azolla-Anabaena* association can be used instead of *Azolla* as inoculant when there is phosphorus deficiency in the natural environment.

Recibido 3-92.



## INTRODUCCION

Actualmente la crisis de energía y el alto costo de los fertilizantes ha creado considerable interés en el uso de materiales orgánicos como fuente de nutrimentos para las plantas (Nagarajah *et al.*, 1989); y, específicamente para nitrógeno y fósforo, una de ellas es el uso de la asociación *Azolla-Anabaena*, única simbiosis que comprende un helecho acuático y una alga cianofícea. Esta asociación presenta una considerable capacidad de fijar nitrógeno atmosférico; Quintero y Ferrera-Cerrato (1991a y 1991b) señalan una fijación de 2156, 1773 y 1524 mg de N por grano de peso seco (gps) para las colectas SI, XO y OA, respectivamente en 238 días y 1943, 1751 y 1601 mg de N (gps)<sup>-1</sup> para las colectas JA, HI y TL, respectivamente.

La asociación es utilizada como abono verde para el cultivo de arroz en áreas tropicales y templadas (Lumpkin y Plucknett, 1980; Moore, 1969), y se considera que tiene gran potencial agronómico en las áreas inundadas de nuestro país, aunque su desarrollo requiere de altos niveles de fósforo disponible (Quintero *et al.*, 1990).

El desarrollo y la fijación de N de *Azolla* son influenciados por una extensa variedad de factores ambientales (Becking, 1979), entre ellos, el fósforo y la temperatura son probablemente los factores comunes más limitantes del crecimiento de *Azolla* en el campo (Tung y Watanabe, 1983).

Con suficiente cantidad de fósforo disponible, *Azolla* puede almacenar hasta seis veces más del que necesita (Lumpkin y Plucknett, 1982), y al estar enriquecida con este elemento, se emplea como inóculo en campo (Watanabe *et al.*, 1988). La concentración mínima necesaria de fósforo en *Azolla* mostró ser de 0.2 a 0.3 % (Kondo *et al.*, 1989). Abajo de ésta, el crecimiento es proporcional al contenido de fósforo (Subudhi y Watanabe, 1981).

De acuerdo con lo anterior, el objetivo del presente trabajo fue conocer la capacidad y el período de descarga de fósforo de 13 colectas mexicanas de *Azolla*.

## MATERIALES Y METODOS

El experimento se llevó a cabo en condiciones de invernadero, se utilizaron charolas de plástico de 357 cm<sup>2</sup> de área y 3213 cm<sup>3</sup> de volumen. Se trabajó con 13 colectas mexicanas de *Azolla* del *Azollatum* del Colegio de Postgraduados, Montecillo, México. Se inocularon 10 g de *Azolla* por charola en solución Yoshida libre de fósforo, con tres repeticiones por colecta, con un diseño experimental completamente al azar.

Durante el experimento se cosechó el material cuando se presentó una cobertura total en la charola, y se dejó aproximadamente la tercera parte del material para su desarrollo. Se determinó peso fresco, peso seco y porcentaje de fósforo. El peso fresco se midió al momento de la cosecha y el seco después de haber secado el material en una estufa de circulación de aire forzado a 70 °C durante 72 horas.

La determinación de fósforo se hizo en el Laboratorio de Fertilidad de Suelos del Colegio de Postgraduados, se empleó una digestión húmeda con una mezcla digestora de ácido nítrico y de ácido perclórico, con una relación 2:1 (AOAC, 1980). La evaluación del fósforo total en el digerido se hizo colorimétricamente mediante la formación del complejo amarillo fosfovanadomolibdato (Jackson, 1970).

En el Cuadro 1 se muestran las claves de identificación de las cepas, las coordenadas y la altitud de los lugares de procedencia.

## RESULTADOS Y DISCUSION

La ausencia de fósforo limitó el crecimiento de *Azolla*. Se presentó diferente susceptibilidad a la deficiencia del P entre las colectas, diferencia que desapareció en el cuarto y quinto muestreos, realizados a los 61 (TA, TO, MO, TL, XO, CH) y 70 días (JA, TE, HI, OA, SI, VEI, VEII). Lo anterior concuerda con lo publicado por Kondo *et al.* (1989), quienes encontraron que hay apreciables diferencias entre especies en cuanto a tolerancia a la deficiencia de P y a altas temperaturas. Subudhi *et al.* (1981) mencionan que la habilidad de las diferentes colectas



Cuadro 1. Lugares con coordenadas y altitud de cada una de las colectas

Clave	Lugar de colecta	Latitud norte	Longitud oeste	Altitud m
TO	Sn. José Toshi, Edo. de México.	19° 51' 44" 19° 52' 05"	99° 56' 20" 99° 56' 38"	2550
HI	17 km al noroeste de Ciudad Sahagún en la Laguna de Tecocomulco, Hidalgo.	19° 53' 20" 19° 50' 08"	98° 21' 54" 98° 25' 44"	2520
CH	Chignahuapan, Puebla.	19° 50' 16" 19° 50' 44"	98° 00' 57" 98° 01' 24"	2320
TE	km 60 carretera México-Puebla, Texmelucan, Tlax.	19° 17' 30" 19° 18' 05"	98° 25' 45" 98° 26' 30"	2300
TL	Tláhuac, Distrito Federal.	19° 15' 25"	99° 02' 38"	2240
XO	Xochimilco, Distrito Federal.	19° 15' 10"	99° 05' 10"	2240
OA	Sta. Cruz Mixtepec, Mpio. de Zimatlán, Oaxaca.	16° 48' 50"	96° 54' 12"	1500
JA	Cerro Gordo Mpio. de Emiliano Zapata, Veracruz.	19° 21' 50"	97° 14' 20"	1435
MO	Atlacomulco, Mpio. de Jiutepec, Morelos.	18° 46' 28"	99° 14' 47"	1350
SI	Guamúchil, Sinaloa.	25° 26' 00" 25° 27' 13"	108° 04' 32" 108° 05' 16"	50
VEI	km 26.5 carretera federal Veracruz-Xalapa, Mpio. de Manlio Favio Altamirano, Veracruz.	19° 09' 50" 19° 09' 58"	96° 15' 45" 96° 15' 59"	18
VEII	Mpio. de Manlio Favio, Altamirano, Veracruz.	19° 21' 55"	97° 16' 10"	18
TA	Región de Mazatiupa, H. Cárdenas, Tabasco.	17° 59' 30" 18° 05' 30"	92° 26' 54" 92° 48' 35"	10

INEGI, 1988.

para crecer con deficiencias de P puede depender del desarrollo de sus raíces.

A los 14-15 días empezaron a aparecer los síntomas visuales de deficiencia de P: fragilidad, coloración rojiza, reducido crecimiento en las frondas que fueron de menor tamaño, abundantes raíces de color café y de

mayor longitud que en condiciones normales. Esto coincide con lo señalado por Watanabe *et al.* (1988), quienes mencionan que el contenido de P en *Azolla* enriquecida decreció rápidamente con el crecimiento de la misma, alcanzando niveles casi deficientes a los 14 días después de la inoculación, y que la multiplicación de *Azolla* llegó a ser muy lenta



**Cuadro 2. Contenido de fósforo en 13 colectas de *Azolla*, muestreada en diferentes periodos.**

Colecta	Número y Días de muestreo				
	(1) 0 <sup>z</sup>	(2) 15	(3) 46	(4) 61	(5) 70
	----- % -----				
JA	0.795	0.1894 <sup>a</sup> <sup>x</sup>	0.0645 defg	0.06233 cd	0.05667 <sup>ab</sup>
HI	0.682	0.1705 <sup>a</sup>	0.0887 b	0.07017 bc	0.06808 <sup>a</sup>
MO	0.659	0.1909 <sup>a</sup>	0.1250 <sup>a</sup>	0.12017 <sup>a</sup>	y
SI	0.659	0.1606 <sup>a</sup>	0.0787 bcd	0.07500 b	0.06750 <sup>ab</sup>
TL	0.636	0.1386 <sup>a</sup>	0.0692 cdef	0.05917 de	y
VEII	0.636	0.1227 <sup>a</sup>	0.0592 efg	0.05333 de	0.05017 <sup>ab</sup>
TE	0.625	0.1477 <sup>a</sup>	0.0583 fg	0.05633 de	0.04500 b
VEI	0.625	0.1439 <sup>a</sup>	0.0750 bcde	0.05333 de	0.05083 <sup>ab</sup>
XO	0.595	0.1697 <sup>a</sup>	0.0850 bc	0.07333 b	y
CH	0.591	0.1326 <sup>a</sup>	0.0800 bcd	0.07667 b	y
OA	0.568	0.1848 <sup>a</sup>	0.0837 bc	0.07833 b	0.04667 <sup>ab</sup>
TO	0.568	0.1553 <sup>a</sup>	0.0785 bcd	0.07517 b	y
TA	0.534	0.1311 <sup>a</sup>	0.0523 g	0.05050 e	y

z Concentración inicial de fósforo.

y Colectas que no alcanzaron el quinto muestreo.

x Las medias con la misma letra son estadísticamente iguales, Tukey a 5%. El análisis se hizo en cada muestreo por separado.

cuando su contenido de P fue de 0.15% o menos, con base en peso seco. Lo anterior sugiere que después de 15 días la actividad de la nitrogenasa se inhibe, pues existe estrecha relación entre el P disponible y la cantidad de nitrógeno fijado; si bien altas concentraciones de P no estimulan el crecimiento, sí influyen en la fijación del N<sub>2</sub> (Kondo *et al.*, 1989). Por lo tanto, se puede ampliar este periodo de fijación al utilizar *Azolla* enriquecida con P ya sea como inóculo que permita un rápido crecimiento en campo o bien para establecer periodos de aplicación cuando se usa como biofertilizante.

En cuanto a biomasa fresca y seca, se observó una relativa disminución a través del tiempo debido a que se afectó la consistencia de las frondas y su crecimiento. En el segundo muestreo (15 días) se refleja una descarga de 75 % (Figura 1) en promedio del contenido inicial, después de esta fecha el crecimiento fue aún más lento debido a que el contenido de P fue menor al requerido, esto de acuerdo con la concentración mínima necesaria para un desarrollo normal, que es de 0.2 - 0.3 % según lo señalado por Kondo *et al.* (1989).

Sin P el crecimiento de todas las colectas fue severamente afectado.

Watanabe *et al.* (1988) mencionan que la *Azolla* enriquecida se puede multiplicar de cinco a siete veces después de la inoculación hasta llegar a la deficiencia.

Las variaciones en las colectas en cuanto a descarga de P se muestran en el Cuadro 2.

Podría decirse que las colectas mostraron tolerancia a la deficiencia de diferente forma, en algunas, por ejemplo en la de MO, la descarga fue más lenta, aunque su crecimiento se vio severamente afectado, pues no alcanzó al quinto muestreo; las colectas de TA, TO TL, XO y CH mostraron el mismo comportamiento (Figura 1a y 1b). En otras, la descarga fue rápida y mostraron cierta tolerancia, pues continuaron creciendo hasta el quinto muestreo (70 días después de inocularse el material cargado con fósforo), como ocurrió con las colectas de JA, TE, HI, OA, SI, VEI y VEII (Figura 1c y 1d). Se aprecia que la carga de fósforo en *Azolla* duró 46 días en las trece



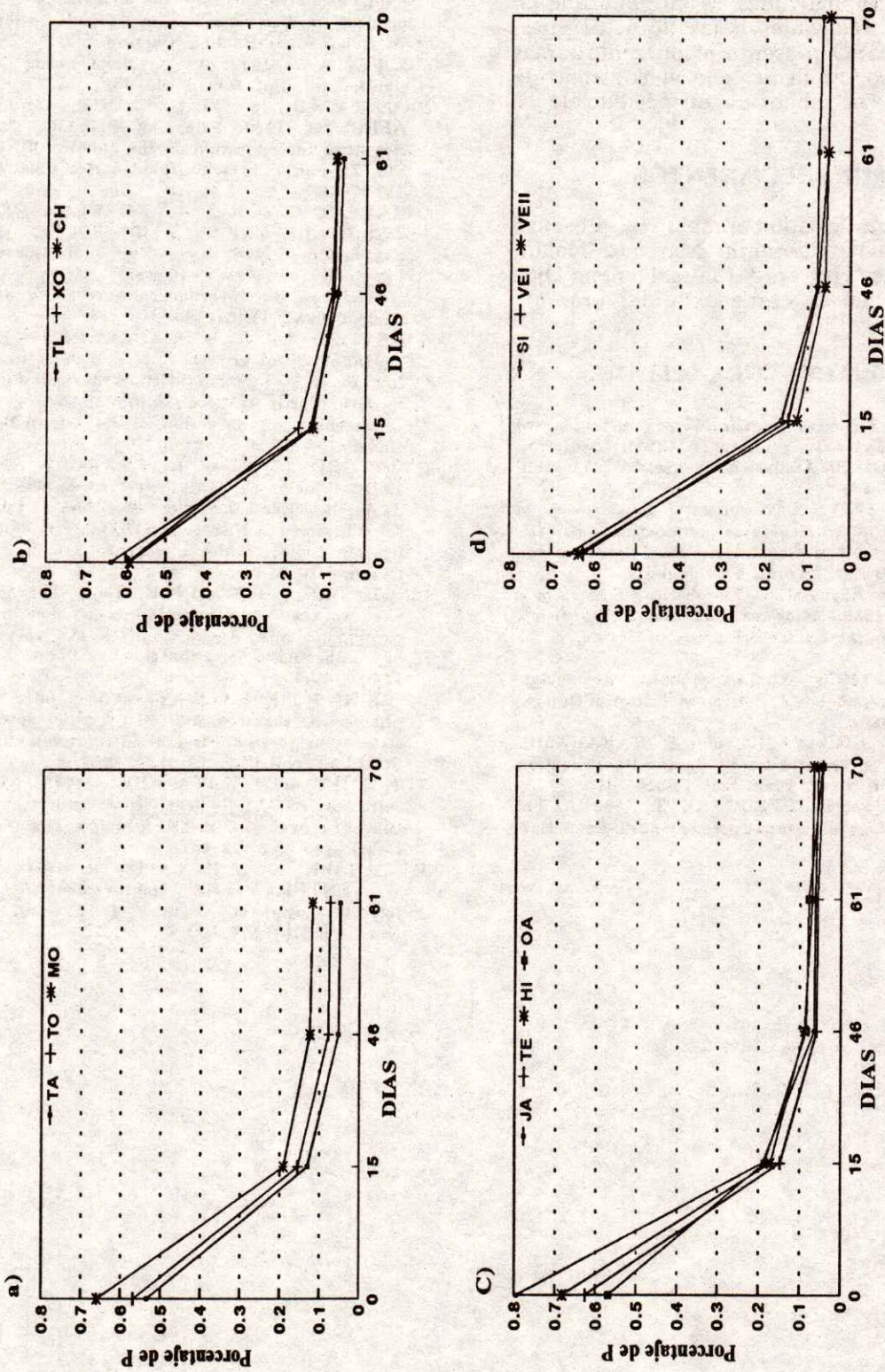


Figura 1. Descarga de fósforo durante 61 días (a y b) y 70 días (c y d) de 13 colectas mexicanas de *Azolla*.



colectas evaluadas. Las diferencias estadísticas más marcadas se presentaron en los muestreos realizados a los 46 y 61 días. La colecta de MO presentó el porcentaje más alto de fósforo, es decir, que el consumo de este elemento fue menor en un periodo de 15 días.

### AGRADECIMIENTOS

Se agradece la colaboración de Lorenzo Viana Monsalvo, Edmundo Martínez Galán, Martín Godínez Herrera y Manuel Solano Díaz por su apoyo en la realización del presente trabajo.

### LITERATURA CITADA

- AOAC, 1980. Official methods of analysis of official analytical chemists. 15th edition. Association of Official Analytical Chemists. Washington, D.C. USA.
- BECKING, J.H. 1979. Environmental requirement of *Azolla* for use in tropical rice production. pp. 345-373. In: Nitrogen and Rice. International Rice Research Institute, Los Baños, Laguna, Philippines.
- INEGI. (Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática). 1988. Atlas nacional del medio físico. Secretaría de Programación y Presupuesto, México.
- JACKSON, M.L. 1970. Análisis químico de suelos. Traducción al español de J. Beltrán M. Editorial Omega, Barcelona, España.
- KONDO, M., M. KOBAYASHI, and E. TAKAHASHI. 1989. Effect of phosphorus on *Azolla* and its utilization in rice culture in Niger. Plant Soil 120:165-170.
- LUMPKIN, T.A., and D. L. PLUCKNETT. 1980. *Azolla*: botany, physiology and use as a green manure. Econ. Bot. 34:111-153.
- LUMPKIN, T.A., and D. L. PLUCKNETT. 1982. *Azolla* as a green manure: Use and management in crop production. Westview Tropical Agriculture Series, No. 5. Westview Press. Boulder, Colorado.
- MOORE, A.W. 1969. *Azolla*: biology and agronomic significance. Bot. Rev. 35: 17-35.
- NAGARAJAH, S., H.U. NEUE, and M.C.R. ALBERTO. 1989. Effect of *Sesbania*, *Azolla* and rice straw incorporation on the kinetics of  $\text{NH}_4^+$ , K, Fe, Mn, Zn and P in some flooded rice soils. Plant Soil 116:37-48.
- QUINTERO L., R., R. FERRERA-CERRATO, J.D. ETCHEVERS B. y D. SOTRES R. 1990. Evaluación y uso del biofertilizante *Azolla filiculoides* en arroz (*Oryza sativa* L.) bajo condiciones de invernadero. Agrociencia, Serie Agua-Suelo-Clima 1(1):161-180.
- QUINTERO L., R. y R. FERRERA-CERRATO. 1991a. Study of growth rate and nitrogen fixation of *Azolla* from different Mexican states. p. 56. In: 13th North American Symbiotic Nitrogen Fixation Conference, Program and Abstracts. August 25-30. Banff, Canada.
- QUINTERO L., R. y R. FERRERA-CERRATO. 1991b. Fijación de nitrógeno en tres colectas mexicanas de *Azolla*. I Encuentro Iberoamericano de Investigación sobre Fijación de Nitrógeno y III Congreso Nacional de la fijación biológica del nitrógeno. 2-5 de Diciembre. Cuernavaca, Morelos. p. 97.
- SINGH, D.P. y P.K. SINGH. 1989. The response of rice to the growth and nitrogen fixation in *Azolla caroliniana* and *Azolla pinnata* at varying rates of phosphate fertilization. Plant and Soil 114:205-209.
- SUBUDHI, B.P.R. e I. WATANABE. 1981. Differential phosphorus requirements of *Azolla* species and strains in phosphorus-limited continuous culture. Soil Sci. Plant Nutrition 27(2):237-247.
- TUNG, H.F. e I. WATANABE. 1983. Differential response of *Azolla-Anabaena* associations to high temperature and minus phosphorus treatments. New Phytol. 93:423-431.
- WATANABE, I., M.T. LAPIZ, R. OLIVEROS, y W. VENTURA. 1988. Improvement of phosphate fertilizer application to *Azolla*. Soil Sci. Plant Nutrition 34(4):557-569.



**EFECTO DE LA ENDOMICORRIZA VESICULO-ARBUSCULAR EN LA FIJACION BIOLOGICA DE NITROGENO EN FRIJOL APLICANDO DIFERENTES NIVELES DE FOSFORO**

Effect of The V-A Mycorrhiza in the Bean Nitrogen Fixation With Different Phosphorus Levels

V. Olalde-Portugal, J. Frías H., L.I. Aguilera G.,  
Ma. de J. Alvarado B.

CINVESTAV-IPN, U. Irapuato, Depto. de Biotecnología y Bioquímica,  
Apartado Postal 629, 36500 Irapuato, Gto.

*Palabras clave:* Fijación de nitrógeno, Micorriza vesículo-arbuscular, *Rhizobium leguminosarum* bv. *phaseoli*.

*Index words:* Nitrogen fixation, Vesicular-arbuscular - mycorrhiza, *Rhizobium leguminosarum* bv. *phaseoli*.

**RESUMEN**

Se evaluó el efecto de la inoculación de un hongo endomicorrízico vesículo-arbuscular (VA) (*Glomus fasciculatum*) y diferentes dosis de fósforo (0, 25, 50, 100, 200 mg hidroxapatita maceta<sup>-1</sup>) sobre la capacidad de fijación de nitrógeno en frijol (*Phaseolus vulgaris* var. Negro Honduras 35) inoculado con *Rhizobium leguminosarum* bv. *phaseoli*. El experimento incluyó 10 tratamientos (cinco niveles de fósforo y dos de micorriza) con cuatro repeticiones por tratamiento, con un diseño completamente aleatorio. Las variables evaluadas fueron: peso seco de follaje y raíz, actividad de la nitrogenasa (medida como reducción de acetileno) y porcentaje de colonización micorrizica.

Los resultados obtenidos mostraron que en las plantas no micorrizadas, la adición de los

diferentes niveles de fósforo no tuvo ningún efecto en las variables medidas, en comparación con las plantas inoculadas con el hongo micorrízico, en las cuales el peso seco de follaje y de la raíz, así como la actividad fijadora de nitrógeno, se incrementaron. El incremento más notable se obtuvo en la fijación de nitrógeno en plantas micorrizadas con respecto a las no micorrizadas (800%), lo que indica el beneficio en la planta de la asociación tripartita leguminosa-*Rhizobium*-hongo micorrízico V-A. Otro resultado notorio fue la inhibición del porcentaje de micorrización con la aplicación de elevados niveles de fósforo (26.3 y 40 mg de P maceta<sup>-1</sup>). En general, los mejores resultados en todas las variables se obtuvieron con el tratamiento de plantas micorrizadas y con un nivel de 14.8 mg de fósforo maceta<sup>-1</sup> (25 mg de hidroxapatita).

**SUMMARY**

An evaluation of nitrogen fixation activity was carried out in common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) inoculated with mycorrhizal fungi (*Glomus fasciculatum*) of different levels of phosphorus (0, 25, 50, 100, 200 mg hydroxapatite pot<sup>-1</sup>). This crop was associated to *Rhizobium leguminosarum* biovar *phaseoli*. A completely random design was used in which five phosphorus and two mycorrhizal



inoculum levels were assayed. Every treatment was replicated four times. Dry matter yields, mycorrhizal colonization of roots and nitrogen fixation activity (acetylene reduction) were measured. The results showed no effect in these parameters with the different levels of phosphorus in uninoculated plants. In the mycorrhizal plants the dry matter yield and the nitrogen fixation activity were increased. The fungus root colonization was inhibited as the levels of phosphorus increased. Remarkable increments on nitrogen fixation activity in mycorrhizal plants (800%) indicated a great beneficial influence of this double organism association on common bean plants.

### INTRODUCCION

La asociación simbiótica que se efectúa entre plantas de la familia Leguminosae y bacterias del género *Rhizobium* y/o *Bradyrhizobium* es de gran significancia ecológica y productiva, ya que el total o parte del nitrógeno requerido por la planta es aportado gracias a esta asociación (Ahmad *et al.*, 1981). Sin embargo, el proceso de fijación de nitrógeno tiene un alto requerimiento de energía, se ha calculado que teóricamente se necesitan aproximadamente 16 moles de ATP por mol de nitrógeno (Phillips, 1980), por lo cual el fósforo disponible en el suelo es un factor limitante para este proceso.

El estudio de la simbiosis es de particular importancia en el caso del frijol, pues en esta especie la actividad fijadora de nitrógeno es baja, de tal forma que es necesario investigar alternativas que incrementen la capacidad de fijación de dicho elemento en esta especie leguminosa tan importante. Asimismo, otra asociación benéfica en estas plantas es la realizada con hongos micorrizicos V-A, los cuales producen un aumento en la incorporación de fósforo y otros elementos (Baas, 1990; Guzmán-Plazola y Ferrera-Cerrato, 1990; Mosse, 1973). De esta forma, la triple asociación (Leguminosa-bacteria-hongo) puede mejorar el crecimiento y desarrollo de este tipo de plantas.

En general, los beneficios de la doble inoculación en leguminosas son debidos al incremento en nitrógeno, masa nodular, incorporación de fósforo y área foliar (Barea y Azcón-Aguilar, 1983). El papel que el

fósforo desempeña tanto en la fijación de nitrógeno (Jacobson, 1985), como en la colonización de hongos micorrizicos en plantas leguminosas es determinante. Cuando este elemento es extremadamente limitante, el crecimiento de ambos simbiontes (planta y hongo) es inhibido (Bethlenfalvay y Yoder, 1981). En cambio, cuando el fósforo disponible es bajo, se incrementa la colonización y la actividad de las micorrizas, aumenta la incorporación del elemento en la planta, además de estimular la fijación de nitrógeno (Asimi *et al.*, 1980; Bethlenfalvay y Yoder, 1981; Carling *et al.*, 1978). A medida que aumenta la cantidad de fósforo (nivel intermedio), el hongo prolifera a expensas del hospedante, pero no incrementa la incorporación de fósforo a la planta; y cuando el fósforo disponible es extremadamente alto se inhibe el crecimiento del hongo (Bowen, 1978; Harley, 1969).

Conociendo que en los dos tipos de simbiosis mencionadas el aporte de la planta leguminosa son exudados radicales y/o fotosintatos que son aprovechados por los dos tipos de microorganismos (bacterias y hongos) es de considerarse que en una asociación tripartita pueda ocurrir competencia por estos compuestos por parte de los microsimbiontes citados.

Por otra parte, se conoce también un compuesto fosforado (hidroxiapatita) que por sus características de disponibilidad de fósforo, al aplicarse al sustrato no inhibe el desarrollo del hongo y permite el crecimiento de la planta sin depender de éste (Bethlenfalvay *et al.*, 1982a), situación que favorece la observación de la influencia de la micorrización vesículo-arbuscular en la fijación de nitrógeno en plantas leguminosas.

Con estos antecedentes se procedió a desarrollar el presente estudio cuyo objetivo fue evaluar el efecto de la colonización de un hongo micorrizico vesículo-arbuscular en la actividad fijadora de nitrógeno de dos cepas de *Rhizobium leguminosarum* bv. *phaseoli*, al adicionar diferentes niveles de fósforo (cuya fuente fue la hidroxiapatita), en plantas de *Phaseolus vulgaris* L. var. Negro Honduras 35.

### MATERIALES Y METODOS

El estudio se efectuó en los invernaderos del Centro de Investigación y Estudios



Avanzados del Instituto Politécnico Nacional, Unidad Irapuato, ubicado a 6 km de Irapuato, Gto. Se utilizaron plantas de *Phaseolus vulgaris* L. Negro Honduras 35, germoplasma donado por el INIFAP-Celaya. Se utilizaron las cepas OAX-31 y CIAT-899 de *Rhizobium leguminosarum* bv. *phaseoli*. El hongo micorrizico usado en el estudio fue *Glomus fasciculatum*, proporcionado por el Centro de Edafología, Colegio de Postgraduados, Montecillo, Chapingo.

Las rizobias crecieron en medio extracto de levadura y de manitol cuya composición en g L<sup>-1</sup> fue la siguiente: manitol 10; KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub> 0.5; MgSO<sub>4</sub> 0.2; NaCl 0.1; extracto de levadura 0.5 y 5 mL de azul de bromotinol a 0.5% en etanol. El pH se ajustó a 7.0 y las condiciones de incubación se mantuvieron a 29°C durante 48 h. Las células se cosecharon en una centrifuga (Sorval 5B) a 10 000 rpm durante 20 minutos a 4°C. El paquete celular se lavó con solución de fosfatos por triplicado. En el último lavado el paquete celular se resuspendió hasta obtener una concentración de 1 x 10<sup>9</sup> células mL<sup>-1</sup>.

El hongo micorrizico se propagó en macetas que contenían 1 kg de una mezcla de suelo limoso con arena (1:1), previamente esterilizada. Para tal fin se utilizó el pasto *Lolium perenne* (ballico perenne), cuya semilla se esterilizó en su superficie con hipoclorito de sodio a 10%, durante 10 minutos. Las plantas se dejaron crecer por cuatro meses.

La siembra de las semillas de frijol se realizó en las macetas de 1 kg con el mismo suelo utilizado para propagar el hongo; se sembraron dos semillas por maceta, previamente esterilizadas en su superficie. La inoculación con la bacteria y con el hongo micorrizico se efectuó en el momento de la siembra en los tratamientos correspondientes.

La concentración de bacterias inoculadas fue de 1 x 10<sup>9</sup> células semilla<sup>-1</sup>, mientras que del hongo se adicionaron 280 esporas (contenidas en 20 g de la mezcla suelo-arena) y dos gramos de raíces micorrizadas (con 80% de colonización), éste sólo se inoculó en la mitad de las macetas. Se aplicaron las siguientes dosis de fósforo en el momento de la siembra: 25, 50, 100 y 200 mg de hidroxapatita (HAP) por maceta.

Las plantas se regaron cada 10 días con la siguiente solución (g L<sup>-1</sup>): CaCl<sub>2</sub> 0.17; K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 0.09; MgSO<sub>4</sub> 0.03; NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub> 0.035; EDTA-Fe 0.007; CoCl<sub>2</sub> 0.0007. Además, a esta solución se le adicionaron 0.25 mL de la solución nutritiva de Hoagland (Somasegaran y Hoben, 1985) y se le ajustó el pH a 6.8.

Se probó un total de 10 tratamientos compuestos de los cuatro niveles de hidroxapatita más un testigo (0 mg P maceta<sup>-1</sup>) combinados con la inoculación y no inoculación del hongo micorrizico. Después de 45 días se midieron las variables: peso seco de follaje y raíz; porcentaje de micorrización y actividad de la nitrogenasa (medida como reducción de acetileno). Los resultados se analizaron con un diseño completamente al azar con cuatro repeticiones por tratamiento. Se realizó la prueba de Tukey para comparación de medias.

## RESULTADOS Y DISCUSION

### Peso seco de follaje y raíz.

La adición de fósforo en plantas no micorrizadas no mostró ningún efecto en cuanto al peso seco de follaje y raíz (Cuadro 1). En ambas variables resultó estadísticamente igual aplicar 200 mg maceta<sup>-1</sup> de hidroxapatita

Cuadro 1. Efecto de la micorrización y la adición de HAP en el peso seco de follaje y raíz de frijol var. Negro Honduras 35, inoculado con *Rhizobium leguminosarum* bv. *phaseoli*.

Dosis de HAP	Peso seco <sup>*</sup>	
	Follaje	Raíz
mg maceta <sup>-1</sup>	g maceta <sup>-1</sup>	
0 sin micorriza	1.70 c	0.72 d
25 sin micorriza	1.46 e	0.80 bcd
50 sin micorriza	1.48 de	0.76 bcd
100 sin micorriza	1.67 c	0.83 b
200 sin micorriza	1.72 c	0.77 bcd
0 con micorriza	1.62 cde	0.75 bcd
25 con micorriza	2.13 a	0.92 a
50 con micorriza	1.66 cd	0.70 d
100 con micorriza	1.80 bc	0.76 bcd
200 con micorriza	1.94 b	0.73 cd

\*Valores con letras iguales no presentan diferencia estadística significativa a P = 0.05, con la prueba de Tukey.

HAP = Hidroxapatita.



(nivel superior) que no aplicar. Esta situación probablemente se debió a que el fósforo contenido en la hidroxiapatita es poco disponible en comparación con fertilizantes como el superfosfato de calcio triple o superfosfato de calcio simple.

Los resultados estadísticos mostraron diferencias significativas ( $P = 0.05$ ) para ambas variables, y lo más notable es que los mejores resultados se obtuvieron en plantas inoculadas con el hongo micorrizico V-A; el tratamiento con el nivel más bajo de HAP (25 mg maceta<sup>-1</sup>) sobresalió en ambos casos.

Este resultado indica y reafirma lo mencionado por diversos autores (Barea y Azcón-Aguilar, 1983; Bethlenfalvay y Yoder, 1981; Crush, 1976) en el sentido de que la asociación tripartita leguminosa-*Rhizobium*-micorriza V-A mejora el crecimiento de la planta. Sugiere, además, que si las plantas no micorrizadas no fueron capaces de absorber el fósforo de la hidroxiapatita, el efecto de la micorriza V-A permitió la captación de este importante nutrimento de una fuente con poca disponibilidad. Sin embargo, a la vez estos resultados muestran que los niveles superiores de fósforo usados en este trabajo inhibieron el adecuado desarrollo del hongo. Furlan y Bernier-Cardov (1989) publicaron resultados similares.

#### Fijación de Nitrógeno (Actividad de la nitrogenasa).

Esta variable fue la que mayores diferencias presentó entre plantas micorrizadas y no micorrizadas; en promedio, los tratamientos con micorrizas fueron superiores en más de 800% a los no micorrizados, con diferencias altamente significativas ( $P = 0.01$ ). Nuevamente, el tratamiento de 25 mg HAP maceta<sup>-1</sup> con micorriza dio los mejores resultados (Cuadro 2).

En el Cuadro 2 se demuestra claramente lo obtenido en otros trabajos (Bethlenfalvay *et al.*, 1982b; Barea y Azcón-Aguilar, 1983; Ferrera-Cerrato, 1987), quienes mencionan que la actividad fijadora de nitrógeno se vió incrementada en plantas leguminosas micorrizadas hasta en 900%, posiblemente por el incremento en la cantidad de fósforo hacia los nódulos.

**Cuadro 2. Efecto de la micorrización y la adición de HAP en la fijación de N<sub>2</sub> (reducción de acetileno) en plantas de frijol inoculado<sup>2</sup> con *Rhizobium leguminosarum* bv. *phaseoli*.**

Dosis de HAP mg maceta <sup>-1</sup>	Etileno <sup>3</sup>	
	Sin micorriza	Con micorriza
0	1.31 c	3.20 b
25	0.24 d	4.10 a
50	0.15 d	2.95 b
100	0.17 d	3.05 b
200	0.17 d	3.11 b

<sup>2</sup>Valores con letras iguales no presentan diferencia estadística significativa a  $P = 0.05$ , con la prueba de Tukey.

HAP = Hidroxiapatita.

**Cuadro 3. Porcentaje de Micorrización de frijol (Negro Honduras 35) inoculado con *Rhizobium leguminosarum* bv. *phaseoli* y *Glomus fasciculatum*.**

Dosis de HAP mg maceta <sup>-1</sup>	Micorrización		
	Arbúsculos	Vesículas	Total
0	26.8	40.0	71.8
25	30.0	39.0	63.4
50	15.0	37.8	61.7
100	1.6	13.3	34.0
200	2.5	21.0	32.8

Valores con letras iguales no presentan diferencia estadística significativa a  $P = 0.05$ , con la prueba de Tukey.

HAP = Hidroxiapatita.

#### Porcentaje de micorrización.

Los efectos benéficos de la micorriza dependen en parte de la colonización de las raíces, pero esta última puede verse inhibida por la aplicación al suelo de fósforo disponible (Abbott y Robson, 1984). En los resultados obtenidos en esta variable (Cuadro 3), al aumentar la concentración de HAP en el sustrato, se inhibió la colonización micorrizica, pues tanto en arbúsculos, vesículas y en la colonización total se encontró una drástica reducción en los dos niveles superiores (100 y 200 mg HAP maceta<sup>-1</sup>).



Resultó notorio el hecho de que también en esta variable, el nivel de 25 mg HAP maceta<sup>-1</sup> resultara con el mejor porcentaje en arbusculos, que son consideradas las estructuras que llevan a cabo el intercambio de nutrimentos y como tal son de gran importancia en esta simbiosis; este hecho, junto con los datos observados en las variables anteriores, ubica a este nivel de fósforo, como el más adecuado para favorecer la actividad fijadora de nitrógeno y consecuentemente para incrementar el desarrollo y crecimiento de la planta, al menos en esta variedad de frijol e inoculada con estas cepas de *Rhizobium*.

Finalmente, se debe considerar que aunque el hongo micorrízico no este en contacto con los bacteroides de *Rhizobium*, el suministro de fósforo tendrá que ser a través de las células de la corteza del hospedante. Por lo tanto, se sugiere que las fosfatasas en los arbusculos juegan un papel fundamental en la transferencia de fósforo.

También tendrá que considerarse la competencia existente entre los simbioses por el fósforo y los carbohidratos, lo cual puede explicar el incremento en materia seca y actividad fijadora de nitrógeno que se presentó entre el tratamiento de 25 mg HAP maceta<sup>-1</sup> y aquél sin adición fósforo.

### CONCLUSIONES

- En plantas de frijol no micorrizadas, la adición de hidroxapatita como fuente de fósforo no tuvo ningún efecto en el rendimiento del peso seco de follaje y raíz, así como tampoco en la fijación biológica de nitrógeno.
- La inoculación con el hongo micorrízico V-A *Glomus fasciculatum*, incrementó el rendimiento de peso seco de follaje y raíz en plantas de frijol inoculadas con dos cepas de *Rhizobium leguminosarum* bv. *phaseoli* cuando éstas fueron fertilizadas con 25 mg de hidroxapatita maceta<sup>-1</sup>.
- La actividad de la nitrogenasa (medida como reducción de acetileno) en la simbiosis frijol-*Rhizobium leguminosarum* bv. *phaseoli* se incrementó notablemente (800%) con la inoculación del hongo micorrízico *Glomus fasciculatum*.
- La incorporación de niveles altos de HAP (100 y 200 mg HAP maceta<sup>-1</sup>) inhibió considerablemente el porcentaje de micorrización.

### AGRADECIMIENTOS

Se agradece la participación en la mecanografía de la Srta. Ma. Soledad Palomares y el apoyo brindado por el CONACYT en el proyecto N57.

### LITERATURA CITADA

- ABBOTT, L.K., A.D. ROBSON. 1984. The effect of VA mycorrhizae on plant growth. pp. 113-130. In: C.L. Powell and D.J. Bagyarj (eds.). VA Mycorrhiza. CRC Press. Boca Raton, Florida.
- AHMAD M.H., A.R.J. EAGLESHAM, and S. HASSOUNA. 1981. Examining the potential for inoculant use with cowpeas in west African soil. Trop. Agric. (Trinidad) 58: 325-335.
- ASIMI, S., V. GIANINAZZI-PEARSON, and S. GIANINAZZI. 1980. Influence of increasing soil phosphorus levels on interactions between vesicular-arbuscular mycorrhizae and *Rhizobium* in soybean. Can J. Bot. 58: 2200-2206.
- BAAS, R. 1990. Effects of *Glomus fasciculatum* and isolated rhizosphere microorganisms on growth and phosphorus uptake of *Plantago major* spp. *pleiosperma*. Plant Soil 124: 187-193.
- BAREA, J.M., C. AZCON-AGUILAR. 1983. Mycorrhizas and their significance in nodulating nitrogen fixing plants. Adv. Agron. 36: 1-54.
- BETHLENFALVAY G.J., M.S. BROWN, and R.S. PACOVSKY. 1982a. Parasitic and mutualistic associations between a mycorrhizal fungus and soybean: development of the host plant. Phytopathology 72: 889-893.
- BETHLENFALVAY G.J., R.S. PACOVSKY, H.G. BAYNE, and A.E. STATFORD. 1982b. Interactions between nitrogen fixation mycorrhizal colonization and host-plant growth in *Phaseolus hizobium-Glomus* symbiosis. Plant Physiol. 70: 446-450.
- BETHLENFALVAY, G.J., and J.F. YODER. 1981. The *Glycine - lomus - hizobium* symbiosis. I. Phosphorus effect on nitrogen fixation and mycorrhizal infection. Physiol. Plant. 52: 141-145.
- BOWEN G.D. 1978. Dysfunction and shortfalls in symbiotic responses. pp. 231-256. In: J.G. Horsfall, and E.B. Cowling (eds). Plant Disease. Vol. 3. Academic Press. New York.
- CARLING, D.F., W.G. RIFHLE, M.F. BROWN, and D.R. JOHNSON. 1978. Effects of a vesicular-arbuscular mycorrhizal fungus on nitrate reductase and nitrogen activities in nodulating and non-nodulating soybeans. Phytopathology 68: 1590-1596.
- CRUSH, J.R. 1976. Endomycorrhizas and legume growth in some soils of the Mackenzie Basin, Canterbury New Zealand. NZ. J. Agric. Res. 19: 473-476.



- FERRERA-CERRATO R. 1987. Papel de la micorriza en las leguminosas de importancia agrícola y forestal. pp. 25-27. In: Memorias y Resúmenes 1er. Congreso Nacional de la Sociedad Nacional de Fijación Biológica de Nitrógeno. Febrero. Xalapa, Ver., México.
- FURLAN, V., and M. BERNIER-CARDOV. 1989. Effects of N, P, and K on formation of vesicular-arbuscular mycorrhizae, growth and mineral content of onion. Plant Soil 113: 167-174.
- GUZMAN-PLAZOLA., R.A. y R. FERRERA-CERRATO. 1990. La endomicorriza vesicular-arbuscular en las leguminosas. Colegio de Postgraduados. Montecillo, México.
- HARLEY, J.L. 1969. The biology of mycorrhiza. Editorial Leonard Hill. London. U.K.
- JACOBSON, I. 1985. The role of phosphorus in nitrogen fixation by young pea plants (*Pisum sativum*). Physiol. Plant 64: 190-196.
- MOOSE, B. 1973. Advances in the study of vesicular-arbuscular mycorrhizae. Ann. Rev. Phytopathol. 11: 171-176.
- PHILLIPS, D.A. 1980. Efficiency of symbiotic nitrogen fixation in legumes. Ann. Rev. Plant Physiol. 31: 29-49.
- SOMASEGARAN P., and H.J. HOBEN. 1985. Methods in legume-*Rhizobium* technology. University of Hawaii Niftal Project and Mircen. Hawaii.



## EFFECTO DE LA GERMINACION DE DIFERENTES LEGUMINOSAS EN LA SOBREVIVENCIA DE *Rhizobium*

Effect of some legumes germination on *Rhizobium* survival

Ma. de las Nieves Rodríguez Mendoza y Ronald Ferrera-Cerrato

Laboratorio de Fijación de Nitrógeno, Sección de Microbiología,  
Centro de Edafología, Colegio de Postgraduados,  
Km 35.5 carretera México-Texcoco, 56230 Montecillo, México

**Palabras clave:** Germinación, *Phaseolus*, *Rhizobium*, Esfermosfera.

**Index words:** Germination, *Phaseolus*, *Rhizobium*, Spherospheric.

### RESUMEN

Con la finalidad de conocer el efecto esfermosférico de algunas leguminosas sobre la viabilidad de *Rhizobium* se inocularon semillas de *Phaseolus coccineus*, *Phaseolus dumosus* y *Phaseolus vulgaris* con la cepa *Rhizobium leguminosarum* bv. *phaseoli* CPM 22<sup>st 300</sup>. Para *Vicia faba* se utilizó la cepa *Rhizobium leguminosarum* bv. *viceae* CP 108<sup>st 150</sup> y para *Lens esculenta* *Rhizobium leguminosarum* bv. *viceae* CP 109<sup>st 150</sup>.

El número de bacterias por semilla en el momento de la siembra, en las diferentes leguminosas fue;  $11 \times 10^7$  para *P. coccineus* (ayocote);  $9.2 \times 10^7$  para *P. dumosus* (acalete) y  $2.4 \times 10^7$  para *P. vulgaris* (frijol); en *V. faba* (haba) la población fue de  $3.2 \times 10^7$  y en *L. esculenta* (lenteja) de  $2.7 \times 10^6$  bacterias por semilla. Durante las primeras 24 horas después de la siembra la población de las bacterias disminuyó, y posteriormente, en la etapa de germinación de cada leguminosa, se incrementó. El comportamiento de las cepas

introducidas fue diferente en cada una de las leguminosas debido al efecto de exudados formados durante la germinación, calidad de la semilla y competencia con cepas nativas. La nodulación se observó a 19 días después de la siembra a excepción de la lenteja donde se notaron nódulos 15 días después de la siembra. En cuanto al porcentaje de los nódulos formados por las cepas de *R. leguminosarum* bv. *phaseoli* introducidas en frijol, sólo 4% se formó, 10% en ayocote, 14 % en acalete: *R. leguminosarum* bv. *viceae* formó en haba 4% y en lenteja 47.82 %. Se observó que la cepa Cp 109<sup>st 150</sup> tiene una alta competitividad y gran capacidad infectiva en comparación con las cepas nativas.

### SUMMARY

In order to evaluate the spermospheric effect of some legumes on *Rhizobium* viability, *Phaseolus coccineus*, *P. dumosus* and *P. vulgaris* (common bean) seeds were inoculated with the *R. leguminosarum* bv. *phaseoli* CPM 22<sup>st 300</sup> strain. *Vicia faba* was inoculated with the *R. leguminosarum* bv. *viceae* CP 108<sup>st 150</sup> strain and *Lens esculenta* with the CP 109<sup>st 150</sup>. Bacterial numbers for each seed when sowing, were:  $11 \times 10^7$  for *P. coccineus* (large kidney bean or "ayocote"),  $9.2 \times 10^7$  for *P. dumosus* ("acalete"),  $2.4 \times 10^7$  for *P. vulgaris* (common bean),  $3.2 \times 10^7$  for *V. faba* (broad bean) and  $2.7 \times 10^6$  for *L. esculenta* (lentil).

Recibido 3-93.



During the first 24 hours after sowing, bacterial populations decreased. However, during the germination stage they increased again. Strain performance was different for each studied legume, because of the effect of root exudates formed during germination, seed quality and competition against native strains. Nodules were observed 19 days after sowing. Nodulation percentage of *R. leguminosarum* bv. *phaseoli* ranged from 4, 10 and 14% in common bean, large kidney bean and "acalete", respectively. This value, in *R. leguminosarum* bv. *viceae* was 4% for broadbean and 47.82% for lentil. It was observed that CP 109 st 150 strain was highly competitive and had a great infective capacity in relation to native strains.

## INTRODUCCION

La utilización de inoculantes de *Rhizobium* para leguminosas es una práctica muy utilizada en varios países. El propósito es aprovechar la fijación biológica del nitrógeno que se presenta en esta simbiosis, con el objetivo de disminuir el uso de fertilizantes químicos. Por consecuencia, constantemente se obtienen cepas infectivas y efectivas para la inoculación a una amplia gama de leguminosas.

En nuestro país el frijol, la haba y la lenteja son leguminosas que se cultivan extensamente por su importancia en el consumo humano; tal es el caso de la zona centro-norte del país en donde existe una importante zona frijolera, en su mayor parte de temporal. En esa zona se han obtenido incrementos en rendimiento de más de 30% mediante la aplicación de inoculantes con cepas de *Rhizobium* (Almaraz *et al.*, 1989). No obstante, estos resultados no han sido constantes puesto que el éxito de la inoculación depende de diversos factores ambientales, de la relación entre *Rhizobium* y la leguminosa (Zuberer, 1990), así como la cantidad de rizobias nativas.

El éxito de la inoculación no sólo depende de que el inoculante sea viable, sino también de los exudados propios de la semilla durante la germinación. Harman y Stasz (1986) mencionan que a medida que disminuye la viabilidad de la semilla, se incrementan los exudados de ésta, y se hace así más vulnerable al ataque microbiano y presencia de organismos antagónicos de *Rhizobium*, lo cual disminuye la

infección de la leguminosa y, por lo tanto, la fijación de nitrógeno. Cuando el embrión se ensancha y la testa se rompe (Bradbeer, 1988), existe difusión de compuestos que pueden ser tóxicos para algunas bacterias Gram positivas e incluso para *Rhizobium* (Bowen, 1961; Materon y Weaver, 1984). Después de la germinación, en la formación de la espermosfera hay cambios que modifican el microhábitat por efecto de la cantidad y diversidad de sustancias que se liberan. En el desarrollo de la radícula se inicia la infección de la raíz por *Rhizobium* y la posterior formación de nódulos (Alexander, 1980).

El conocimiento de este fenómeno es importante en la producción de inoculantes ya que será necesario seleccionar cepas de *Rhizobium* que sobrevivan a los exudados tempranos de la semilla o de ser posible hasta ser estimulados por ellos. Con base en lo anterior, los objetivos del presente trabajo fueron: evaluar el efecto de la germinación de la semilla en el establecimiento de *Rhizobium leguminosarum* bv. *phaseoli* y *Rhizobium leguminosarum* bv. *viceae* en la espermosfera; conocer la cinética de diferentes cepas de *Rhizobium* que serán utilizadas como inoculante en campo, desde la germinación de la leguminosa hasta 10 días después de la formación de nódulos; cuantificar la infección y producción de nódulos por las cepas antes mencionadas.

## MATERIALES Y METODOS

### Cepas utilizadas.

Las cepas empleadas en este trabajo fueron: *Rhizobium leguminosarum* bv. *phaseoli* CpMex 22, resistente a estreptomycin (300 µg mL<sup>-1</sup>), *Rhizobium leguminosarum* bv. *viceae* Cp 108 para *Vicia sativa* y Cp 109 para *Lens esculenta*, resistente a estreptomycin (150 µg mL<sup>-1</sup>), clave de origen SEMIA 354 y 344 respectivamente, todas ellas pertenecientes a la Colección Microbiana del Colegio de Postgraduados.

### Leguminosas utilizadas.

Frijol (*Phaseolus vulgaris*) variedad Negro Puebla 338; acalete (*Phaseolus dumosus*); ayocote (*Phaseolus coccineus*), de Zacapoaxtla Puebla (especies estudiadas por Miranda, 1990); haba (*Vicia faba*) de Lomas San Juan, Chapingo; lenteja (*Lens esculenta*), de origen comercial.



### Producción de los inoculantes.

Las cepas se inocularon en botellas de dilución de leche que contenía 25 mL de caldo extracto de levadura manitol (CELM) (Rodríguez y Ferrera-Cerrato, 1987). Se incubaron a 28 °C en agitación hasta obtener una población de  $10^9$  bacterias por mililitro, según la escala de McFarland (Campbell, 1970). Como soporte para el inoculante se utilizó turba con las características fisicoquímicas y biológicas que permitieron la sobrevivencia de *Rhizobium* (Rodríguez et al., 1987).

La turba neutralizada y estéril se impregnó e incubó por 15 días como proceso de maduración, después de los cuales se cuantificó *Rhizobium* para confirmar la buena calidad del inoculante (Ferrera-Cerrato y Rodríguez, 1991). La semilla se inoculó utilizando goma arábica a 40% como adherente y con el inoculante de *Rhizobium* a 10% con base en el peso de semilla. Trescientas semillas de cada leguminosa inoculada se sembraron en charolas de plástico (50 semillas por charola) de 26 por 38 cm, que contenían el suelo de Lomas San Juan, Texcoco. Este presentó un pH de 6.7, textura migajón arenosa, 1.2% de materia orgánica y 0.05 % de nitrógeno total (Jean, 1987), y una población de  $10^5$  rizobias por gramo de suelo.

En el experimento se utilizó un diseño de parcelas divididas, donde la parcela grande correspondió tiempo y la parcela chica a la leguminosa. Se hizo una prueba de Tukey para esfermosfera y rizosfera.

### Variables evaluadas.

Desde el momento de la siembra y diariamente por 30 días, se cuantificó la población de *Rhizobium* por el método de dilución decimal en placa, y se utilizó el medio de extracto levadura manitol agar rojo congo (ELMARC) con estreptomycin en diferentes concentraciones, de acuerdo con el marcaje de la cepa, con la finalidad de seguir el comportamiento de las rizobias introducidas (Mathieu, 1982). Para fines prácticos se sembraron por leguminosa en el medio de cultivo, las diluciones  $10^5$ ,  $10^6$ , y  $10^7$  con cuatro repeticiones cada una, se incubaron a 28 °C por 5 días y posteriormente, con ayuda de un contador automático de colonias (Biotran II, de New Brunswick Scientific), se determinó el número de colonias por cada dilución y repetición. Al

finalizar los muestreos se separaron 100 nódulos de cada leguminosa y en forma individual se esterilizaron y maceraron para evaluar la competencia con las cepas nativas en el medio de cultivo ELMARC, con y sin antibiótico.

## RESULTADOS Y DISCUSION

### Sobrevivencia de *Rhizobium leguminosarum* bv. *phaseoli* en el género *Phaseolus*.

El número de rizobias por semillas después de la inoculación fue de  $2.4 \times 10^7$  para frijol;  $9.3 \times 10^7$  para acalete y  $11 \times 10^7$  para ayocote; cantidades que coinciden con lo reportado por Mejía (1983), quien menciona la importancia de tener entre  $10^6$  y  $10^8$  bacterias en la semilla en el momento de la siembra, para garantizar una adecuada nodulación con la cepa introducida.

Las variaciones en número entre las tres leguminosas se deben básicamente a la diferencia en tamaño de las semillas y a características de la testa (Rodríguez y Ferrera-Cerrato, 1981). En el género *Phaseolus* se presentó un efecto esfermosférico de los 0 a 9 días, al depositar la semilla en el suelo se inicia el proceso fisiológico de la germinación y se liberan exudados solubles y volátiles (Scott, 1990) que influyen en la microflora. Veinticuatro horas después de la siembra, la población de rizobias inoculadas disminuyó notablemente, las posibles causas pudieron ser: el manejo de la semilla durante la siembra, la desecación del inoculante, o la presencia de algún exudado biocida que no únicamente detuvo el desarrollo, sino que afectó la viabilidad de la bacteria (Harman y Stasz, 1986; Materon y Weaver, 1984).

En los días posteriores se observó un ligero incremento en la población de rizobias, el cual fue más marcado para *Rhizobium leguminosarum* bv. *phaseoli* cuando se inoculó a *Phaseolus vulgaris*. Este último aumentó de  $2 \times 10^6$  en el primer día a  $28 \times 10^6$  tres días después y al quinto día disminuyó (Figura 1). El comportamiento observado pudo deberse a que la cepa empleada se aisló de frijol y probablemente tenía una mayor afinidad por algunas de las especies (Ferrera-Cerrato, 1980) ya que desde la siembra los cambios poblacionales no fueron tan drásticos en esta leguminosa como en el ayocote y



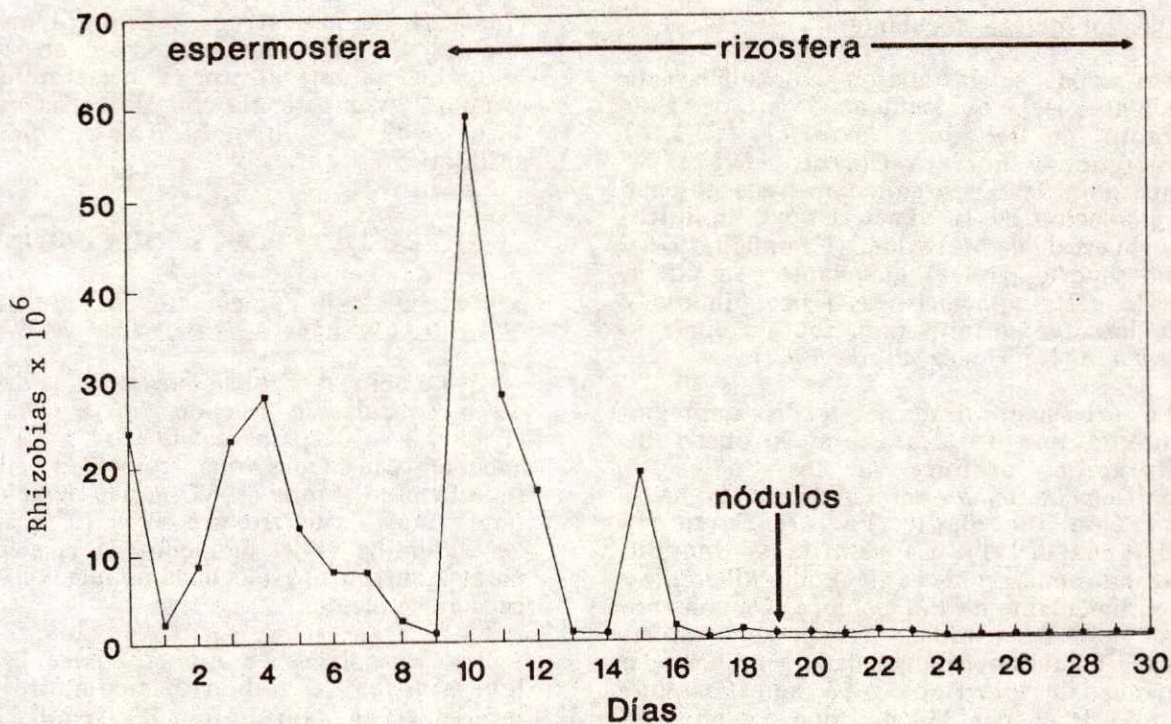


Figura 1. Sobrevivencia de *R. leguminosarum* bv. *phaseoli* CpM 22<sup>st300</sup> en *Phaseolus vulgaris*. En la fase espermosférica que abarca de 0 a 9 días se observan notables diferencias en la población bacteriana, esto por efecto de los exudados de la semilla. En el inicio de la rizosfera y hasta antes de la presencia de los nódulos fluctúa el número de rizobias.

acaete, a pesar de que la población inicial en estas últimas fue mayor.

Se sabe que los exudados más comúnmente presentes en la espermosfera son polisacáridos, aminoácidos y proteínas que deben causar algún efecto en la población de *Rhizobium* y, aunque no se conoce con certeza como es que estas sustancias afectan a las distintas cepas, puede suponerse que tienen un efecto específico según lo observado en este estudio. Al final de este periodo (0 a 9 días) se inició la formación de la radícula. El área de influencia es más amplia ya que se extiende a lo largo de la raíz (Figura 1, día 9 a 19), existe, además, un mayor número de microorganismos que se asocian con los rizobios y que aprovechan el sustrato orgánico generado por la raíz (Brockwell, 1962), lo que origina interrelaciones biológicas en la rizosfera como son: competencia, sinergismo, depredación y simbiosis, etc. (Curl y Truelove, 1986; Richards, 1987).

Las poblaciones de *Rhizobium* en la espermosfera de *Phaseolus coccineus* y *Phaseolus dumosus*, después de 24 horas, se comportaron de manera similar durante los primeros 9 días (Figuras 2 y 3). El análisis de varianza indica que hubo diferencias significativas ( $P < 0.05$ ) entre las tres leguminosas del género *Phaseolus*, la mayor población de rizobias en la espermosfera del ayocote. Como el objetivo de la inoculación de la semilla con la bacteria es asegurar que haya inóculo disponible desde la formación de la radícula, se infiere que al mantenerse éste viable se establecerá la simbiosis. De los 16 a 19 días disminuyó la población y al final de este período se observaron por primera vez, nódulos en la raíz de las tres leguminosas. Después de la aparición de los nódulos, y hasta los 30 días, la población en la rizosfera disminuyó notablemente. Sin embargo, el análisis estadístico ( $P < 0.05$ ) mostró que es en la rizosfera de *P. dumosus* donde se encontró la mayor cantidad la cepa introducida.



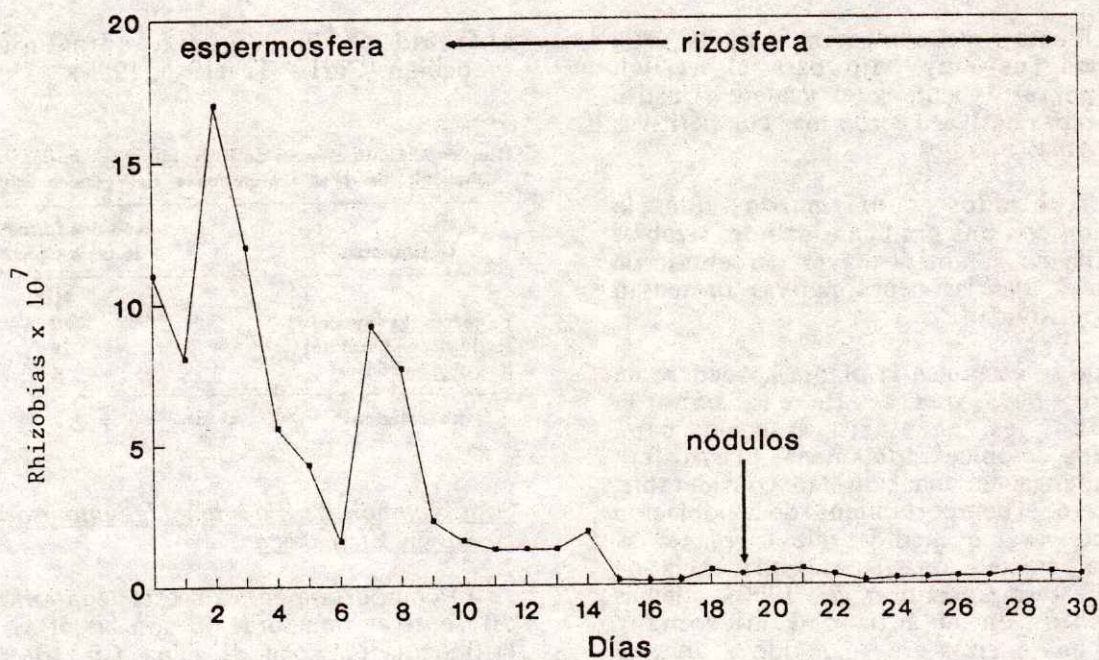


Figura 2. Sobrevivencia de *R. leguminosarum* bv. *phaseoli* CpM 22<sub>st300</sub> en *Phaseolus coccineus*. En la evaluación por 30 días consecutivos se observa que gran variabilidad poblacional en la espermosfera que se inicia desde la siembra hasta nueve días después donde comienza la rizosfera presentándose poca variabilidad antes y después de la presencia de nódulos.

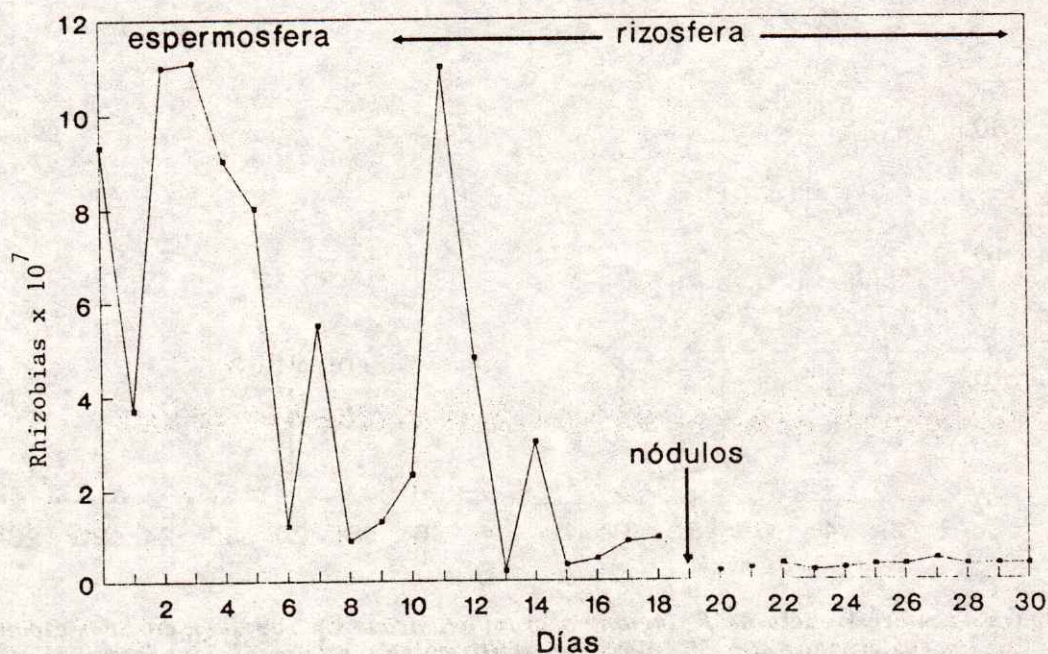


Figura 3. Sobrevivencia de *R. leguminosarum* bv. *phaseoli* CpM 22<sub>st300</sub> en *Phaseolus dumosus*. Durante la evaluación diaria se observó variabilidad poblacional en la espermosfera que va de 0 a 9 días después de la siembra; y en los primeros días en que se presenta la rizosfera, hasta antes de la presencia de nódulos.



El porcentaje de competencia de la cepa introducida fue muy bajo para el frijol, seguido por el ayocote y el acalete (Cuadro 1). Las cepas nativas fueron más competitivas al formar más nódulos.

Los resultados confirmaron que la inoculación con una gran cantidad de rizobias por semilla no garantiza mayor porcentaje de infección y que las cepas nativas presentan alta competitividad.

Cuando se establece la planta hospedera en el campo, para que se lleve a cabo la nodulación, es necesario que la cepa introducida colonice rápidamente la rizosfera y se mantenga en una cantidad considerable; sin embargo, el comportamiento de la población bacteriana varía a medida que la planta se desarrolla, existe una fuerte influencia de la raíz (Ferrera-Cerrato *et al.*, 1990), además por cambios en la actividad microbiana presente en la rizosfera y debido a que se

enfrenta a competencia, antagonismo y predación (Curl y Truelove, 1986).

Cuadro 1. Competencia de *Rhizobium leguminosarum* bv. *phaseoli* en tres leguminosas del género *Phaseolus*.

Leguminosa	Nódulos formados por la cepa CpM22
	%
<i>P. coccineus</i> (ayocote)	10
<i>P. dumosus</i> (acalete)	15
<i>P. vulgaris</i> (frijol)	4

\* Cepa resistente a 300 g mL<sup>-1</sup>.

Sobrevivencia de *Rhizobium leguminosarum* bv. *viciae* en *Vicia faba*.

El comportamiento de esta leguminosa fue diferente en comparación con las otras; desde la inoculación con la cepa Cp 108 quedó

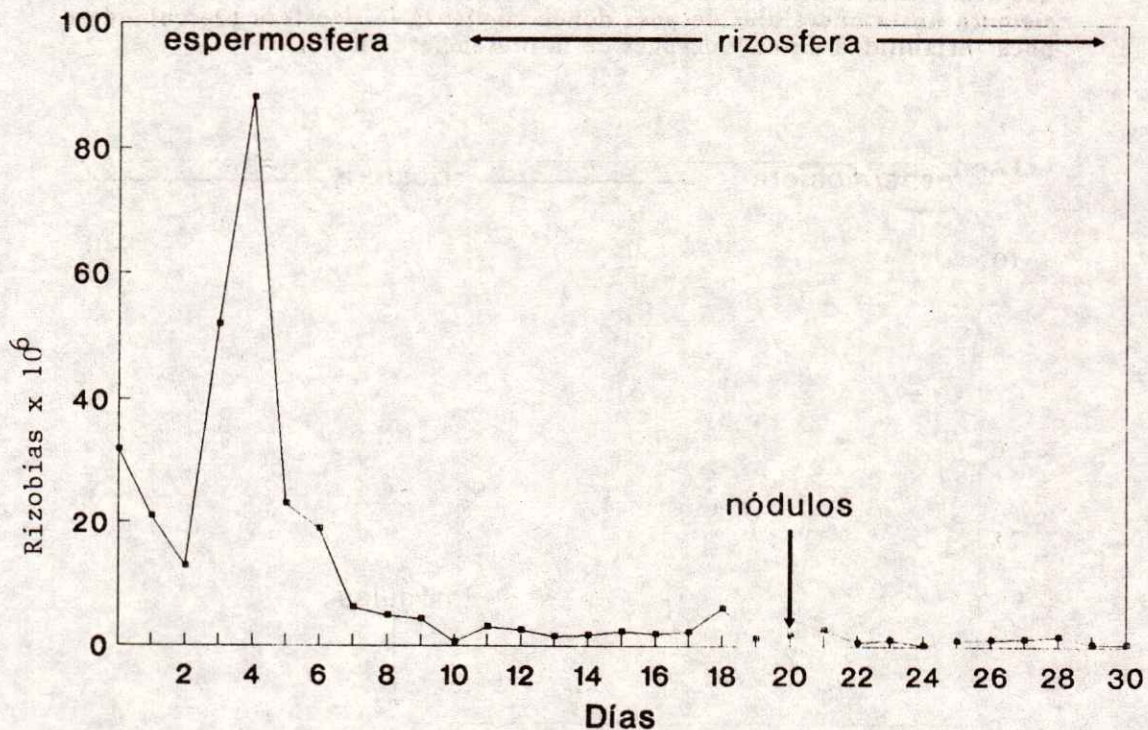


Figura 4. Sobrevivencia de *R. leguminosarum* bv. *viciae* Cp 109<sub>st150</sub> en *Lens esculenta*. En la evaluación por 30 días consecutivos se enmarcan dos fases; el efecto espermosférico que se inicia desde la siembra hasta la presencia de radícula continúa la rizosfera, la cual presenta variaciones hasta antes de la presencia de nódulos.



adherida una cantidad de bacterias de  $3.2 \times 10^7$  a pesar de ser la semilla grande, y tener una testa repelente que impidió que se cubriera totalmente de inoculante.

La población bacteriana disminuyó poco en los dos primeros días, y en el tercero y cuarto se incrementó hasta 275 % más que en el momento de la siembra (Figura 4, día 0 a 10); lo que indica que la proliferación de las bacterias fue motivada por los exudados presentes en la espermosfera. En la prueba de Tukey la población de *Rhizobium* en el haba estuvo por abajo del ayocote y acalete. A medida que continuó la germinación, el número de bacterias se redujo. A partir del 11 día apareció la radícula, así como una respuesta quimiotáctica de la bacteria a la leguminosa, la penetración y formación de nódulos (Zuberer, 1990). En esta etapa, el número de rizobias se mantuvo constante (Figura 4, día 11 a 20) a excepción de 2 días; fue en el día 20 cuando se observaron los primeros nódulos;

a partir de éstos disminuyó la población más que en las leguminosas del género *Phaseolus* (Figura 4, día 21 a 30) y así permaneció hasta el final de los muestreos.

Los nódulos formados por la cepa Cp 108 representaron sólo 4% del total; este bajo valor quizá se debió a la alta competitividad existente por parte de las cepas nativas; ya que en este suelo comúnmente se siembra haba.

#### Sobrevivencia de *Rhizobium leguminosarum* bv. *viciae* en *Lens esculenta*.

La espermosfera de lenteja favoreció la población de *Rhizobium* Cp 109 (Figura 5), en este caso los exudados provenientes de la germinación permitieron la proliferación de la cepa introducida; hasta la aparición de la radícula (8 días) fue cuando disminuyó notablemente la población.

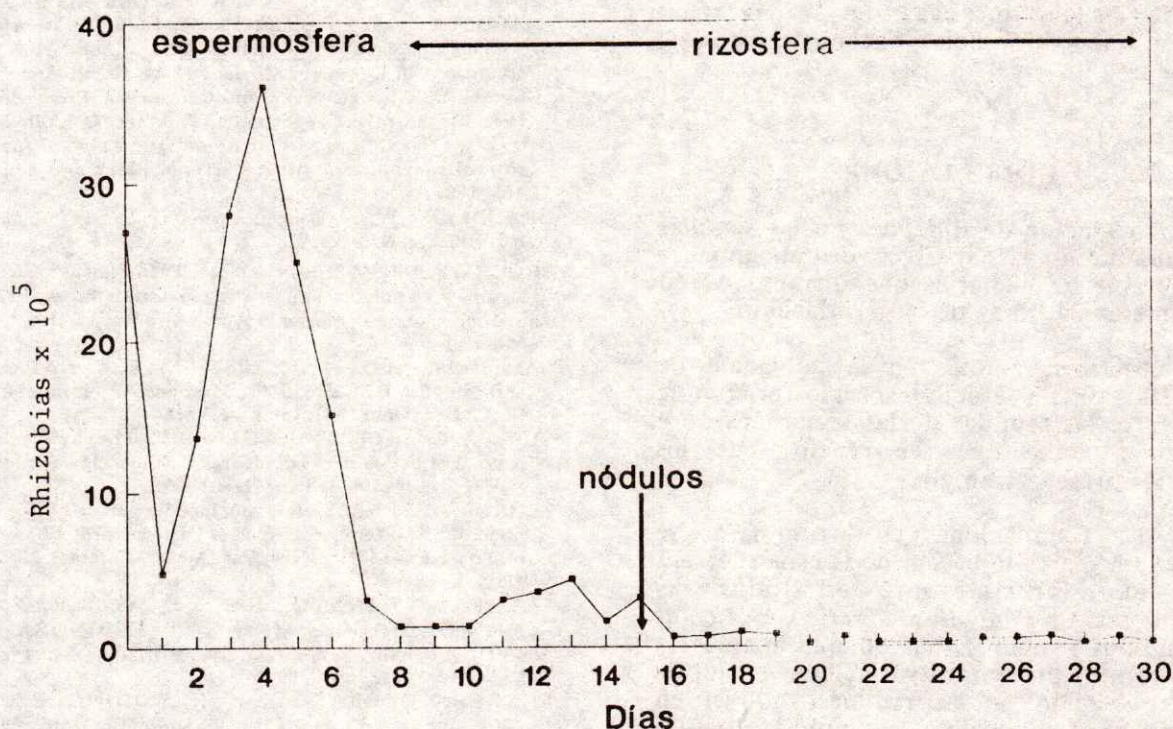


Figura 5. Sobrevivencia de *R. leguminosarum* bv. *viciae* Cp 108<sub>st150</sub> en *Vicia faba*. La cuantificación diaria de la bacteria indica que el efecto espermosférico es determinante en su sobrevivencia ya que es a partir del inicio de la rizosfera donde se mantiene constante el número de rizobias.



Durante el proceso de nodulación, que en este caso fue de un período más corto, a pesar de estar en la rizosfera en menor cantidad que en la espermosfera esta se mantuvo constante y en algunos días se incrementó (Figura 5, días 8 a 15).

A los 15 días aparecieron los nódulos, tiempo en el cual la población en la rizosfera era de  $37 \times 10^4$  bacterias. Diez días después *Rhizobium* disminuyó notablemente y se incrementó a los 25 días, esto se debe a que como los carbohidratos ya no van a la raíz sino a la formación del fruto se inicia la degeneración de los nódulos y se liberan las bacterias en la rizosfera.

El 47.42% de los nódulos presentes en la raíz fueron formados por la cepa Cp 109, lo que indica baja competencia por las cepas nativas y una buena infectividad por la bacteria introducida.

En la prueba de Tukey se observaron diferencias significativas ( $P < 0.05$ ) en las rizobias presentes en la espermosfera de cada una de las leguminosas; en la rizosfera también hubo diferencias, excepto entre frijol y haba.

### CONCLUSIONES

La inoculación de *Rhizobium* a las semillas de leguminosas las abastece de un número considerable de bacterias que disminuye en las primeras 24 horas de la germinación.

Se observan cambios en la población de bacterias por un efecto espermosférico que varía entre las semillas de las leguminosas en estudio, se cree que sea efecto de los exudados presentes en ellas.

Por las fluctuaciones en las gráficas se observa un marcado efecto de la espermosfera sobre el microsimbiote en todas las leguminosas. En *Phaseolus vulgaris* y *Phaseolus dumosus* los primeros días en que aparece la rizosfera, se presentan variaciones notables en la población de las rizobias, no así en lenteja, haba y acalete. Aunque estadísticamente hay diferencias; esto se debe a la presencia de otros microorganismos presentes en el suelo y sus interacciones como competencia, antagonismo y depredación, principalmente.

La formación de nódulos en promedio se observó 19 días después de la inoculación y siembra, con un porcentaje de nodulación baja para las cepas inoculadas en *Phaseolus* y haba en comparación con lenteja que se presentó 15 días después de la siembra; esto puede explicarse tomando en cuenta que el suelo que se utilizó para el experimento es de una área donde se siembra frijol y haba, presentándose así cepas nativas que compiten por fuente de carbono y sitios de infección.

Los resultados de este trabajo indican que en la producción de inoculantes de *Rhizobium* deben utilizarse cepas ensayadas previamente en campo a nivel experimental y que sean estables en su capacidad de competencia y efectividad en la fijación biológica del nitrógeno.

### LITERATURA CITADA

- ALEXANDER, M. 1980. Introducción a la microbiología del suelo. Traducción al Español de J.J. Peña C. AGT Editor S.A., México.
- ALMARAZ S. J.J., R. FERRERA-CERRATO y J. ACOSTA G. 1989. Response in bean the inoculation with *Rhizobium leguminosarum* bv. *phaseoli* under rainfall conditions in Durango, Mexico. 12 th North American Symbiotic Nitrogen Fixation Conference Proceedings. Iowa State University, Scheman Bulding. Ames Iowa.
- BOWEN, D.G. 1961. The toxicity of legume seed diffusates toward Rhizobia and other bacteria. Plant and Soil 15: 155-165.
- BRADBEER J.W. 1988. Seed dormancy and germination. Ed. Blackie. New York.
- BROCKWELL J. 1962. Studies on seed pelleting as an acid to legume seed inoculation. Coating materials adhesives and methods of inoculation. Aust. J. Agric. Res. 13: 638-649.
- CAMPBELL, H.D., S.G. JUSTINE, E.C. NATALIE, and H. S. DEET. 1970. Methods in immunology. W.A. Benjamin (ed). Inc New York.
- CURL, A. E., and B. TRUELOVE. 1986. The rhyzosphere. Advances Series in Agricultural Sciences 15. Springer-Verlag. Berlin Heedelberg New York.
- FERRERA-CERRATO, R. 1980. Inoculación de *Rhizobium phaseoli* a diferentes especies del género *Phaseolus* originarias de México. Rev. Lat.-Amer. Microbiol. 22: 175-180.
- FERRERA-CERRATO, R., J.J. ALMARAZ S., N. RODRIGUEZ M. y D. ESPINOZA V. 1990. Fijación simbiótica de nitrógeno en frijol. Terra 8: 35-72.
- FERRERA-CERRATO R. y N. RODRIGUEZ M. 1991. Manual del curso de fijación simbiótica de nitrógeno en leguminosas EDA-643. Colegio de Postgraduados.
- HARMAN, E.G., and E. STASZ T. 1986. Influence of seed quality on soil microbes and seed roots. Crop Science Society of America. In: Physiological pathological interactions affecting seed deterioration CSSA Spec. Pub. No. 12. Madison, Wisconsin.



- JEAN C. D. 1987. Manejo de la endomicorriza vesiculoso-arbuscular en la producción de frutales perenifolios (Carica papaya cvs cera y solo) cultivados en vivero. Tesis de licenciatura. ENEP, UNAM. México.
- MATERON, L.A., and R. W. WEAVER. 1984. Toxicity of arrowleaf clover seed to Rhizobium trifolii. Agr. J. 76: 471-473.
- MATHIEU, B.L. 1982. Estudio rizosférico de frijol Phaseolus vulgaris L. inoculado con mutantes de Rhizobium haseoli resistentes a estreptomycin. Tesis de licenciatura. ENCB, Instituto Politécnico Nacional. México.
- MEJIA D.C. 1983. Inoculación con Rhizobium y su efecto en los componentes del rendimiento en cuatro especies de Phaseolus. Tesis de Licenciatura. UACH. Chapingo, México.
- MIRANDA C.S. 1990. Identificación de las especies cultivadas del género Phaseolus. Colegio de Postgraduados, Montecillo, México.
- RICHARDS N.B. 1987. The microbiology of terrestrial ecosystems. Ed. Longman Scientific & Technical. New York.
- RODRIGUEZ M., M.N. y R. FERRERA-CERRATO. 1981. Sobrevida de Rhizobium phaseoli sobre la semilla de frijol durante el proceso de germinación hasta plántula. Memorias XII Congreso Nacional de Microbiología, Mérida Yucatán.
- RODRIGUEZ M., M.N. y R. FERRERA-CERRATO. 1987. Estudio microbiológico de un grupo de cepas de Rhizobium phaseoli aisladas en la meseta central (México). Rev. Lat-Amer. Microbiol. 29:91-95.
- RODRIGUEZ M., M.N., R. FERRERA-CERRATO y E. LOPEZ A. 1987. Evaluación microbiológica y sobrevida de Rhizobium en turbas procedentes del estado de México. Resúmenes XX Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo. Zacatecas, Zac. México.
- SCOTT, M.J. 1990. Seed coatings and treatments. Advances in Agron. 42: 44-83.
- ZUBERER, D.A. 1990. Soil and rhizosphere aspects of  $N_2$ -fixing plant microbe associations. pp. 317-349. In: Lynch J.M. (ed.) The rhizosphere. John Wiley & Sons. New York.



## INTERACCION DE LA MICORRIZA V-A Y LA FERTILIZACION FOSFATADA EN DIFERENTES PORTAINJERTOS DE CITRICOS

Interaction of VA Mycorrhiza and Phosphate  
Fertilization among Citrus Rootstocks

Ma. del Carmen González-Chávez y Ronald Ferrera-Cerrato

Programa de Edafología, Instituto de Recursos Naturales  
Colegio de Postgraduados, 56230 Montecillo, Méx.

*Palabras clave:* Portainjertos, Vivero, Endomicorriza.

*Index words:* Rootstocks, Nursery, Endomycorrhiza.

inoculación micorrízica para obtener plantas de buen crecimiento y porte, cuando se usan sustratos de crecimiento fumigados o estériles para evitar o reducir enfermedades de la raíz.

### RESUMEN

Se estudió el efecto de la fertilización fosfatada (75 y 200 mg de P maceta<sup>-1</sup>) y la inoculación de hongos endomicorrizicos vesículo-arbusculares V-A (*Gigaspora* sp. Zac-5; *Glomus* sp. Zac-6, de origen mexicano; y *Glomus fasciculatum*, de origen estadounidense) en el crecimiento de cuatro portainjertos de cítricos: naranjo agrio (*Citrus aurantium*), dos citranges carrizo y troyer (*Citrus sinensis* x *Poncirus trifoliata*) y *Citrus taiwanica*, en condiciones de vivero. Se observaron diferentes respuestas en las variables evaluadas con base en la interacción hongo micorrízico-portainjerto-nivel de fertilización. En todos los portainjertos las plantas testigo (no micorrizadas) siempre presentaron los menores valores, estadísticamente diferentes a los de las micorrizadas, en: altura, diámetro de tallo, número de hojas, área foliar, peso seco de la parte aérea y volumen radical. Lo cual refleja que en condiciones de vivero, se requiere la

Recibido 12-92.

### SUMMARY

The effect of phosphate fertilization (75 and 200 P mg pot<sup>-1</sup>) and the inoculation with endomycorrhizal fungi (*Gigaspora* sp. Zac-5; *Glomus* sp. Zac-6, from mexican origin; and *Glomus fasciculatum*, from USA) on the growth of four rootstocks of citrus under greenhouse conditions were evaluated. The studied rootstocks were: sour orange (*Citrus aurantium*), two citrange carrizo and troyer (*Citrus sinensis* x *Poncirus trifoliata*) and *Citrus taiwanica*. Different responses in the evaluated parameters were observed, according to the different combinations of endomycorrhizal fungi-rootstock-fertilization levels. The control plants (without inoculation) always showed the lowest values, different statistically in: height, stem diameter, leaf number, leaf area, dry weight of the aerial part, and root volume. These facts show that endomycorrhizal inoculation is necessary under greenhouse conditions to obtain healthy and well-grown plants of citrus, when using fumigated or sterile substrates.



## INTRODUCCION

La importancia que tiene la inoculación en el crecimiento y nutrición de los cítricos fue reportada por Kleinschmidt y Gerdemann (1972), y numerosos autores lo han comprobado (Botello *et al.*, 1993; Cardoso *et al.*, 1987; Torres *et al.*, 1991). La amplia distribución que los hongos endomicorrízicos V-A tienen en los cítricos que crecen en sitios definitivos (Caldeira *et al.*, 1983; Davis, 1982; Ferrera-Cerrato, 1983; Trufem y Bonomi, 1985) y la presencia de estos organismos en huertos (99%) y viveros (97%) con adecuado manejo fitosanitario (Nemec, 1990), indica que la simbiosis micorrízica en este cultivo es una condición necesaria y obligada para el buen desarrollo y producción. Es necesaria la introducción de los endófitos en viveros donde se practica la fumigación de los sustratos de crecimiento para eliminar los patógenos de hábitos radicales. Sin embargo, Graham y Faldermann (1986) y Sieverding (1991), mencionaron que es importante seleccionar endófitos eficientes para obtener el máximo desarrollo de las plantas, tomando en consideración la especificidad ecológica que estos microsimbiontes presentan (McGonigle y Fitter, 1990). Así, el objetivo del presente trabajo fue estudiar el efecto de la inoculación micorrízica de dos cepas de origen mexicano y comparar su efecto con *Glomus fasciculatum* de origen estadounidense (endófito altamente eficiente), y estudiar la interacción con dos niveles de fertilización fosfatada en cuatro portainjertos de cítricos.

## MATERIALES Y METODOS

Las semillas de los portainjertos se sembraron en charolas de plástico con tezontle, el cual se esterilizó en un autoclave durante tres horas a  $3.2 \text{ kg cm}^{-2}$ . Una vez que las plántulas adquirieron una altura de aproximadamente 5 cm, se trasplantaron a bolsas negras de vivero de 4 kg de capacidad con suelo pobre en fósforo, previamente fumigado con bromuro de metilo y aireado durante 72 horas.

La inoculación y fertilización se realizó en el momento del trasplante. El inóculo, 5 g de raíces colonizadas con más de 50% de los hongos endomicorrízicos en estudio, se colocó en el orificio que se hizo en el sustrato para la plántula y quedó en contacto con las raíces.

El experimento se estableció con un diseño de bloques al azar con cuatro repeticiones, de acuerdo con los tratamientos del Cuadro 1. Se obtuvo un total de 160 unidades experimentales. Las plantas se mantuvieron en invernadero ( $28^{\circ}\text{C}$ ) durante 6.5 meses, y al final de este tiempo se evaluó la altura de las plantas, diámetro de tallo, número de hojas, peso seco de la parte aérea, área foliar, colonización micorrízica (Phillips y Hayman, 1970) y dependencia micorrízica. Se realizó un análisis de varianza y una prueba de Tukey ( $\alpha = 0.05\%$ ) a todos los datos generados de las variables, excepto para colonización micorrízica, la cual se reportó como dato obtenido del "pool" de raíces de cada tratamiento.

## RESULTADOS Y DISCUSION

Todas las plantas de naranjo agrio, al ser inoculadas presentaron una mayor altura (con diferencias significativas) que las plantas testigo, excepto las inoculadas con *Gigaspora* sp. Zac-5 con 0 y 200 ppm de P (Figura 1). Botello *et al.* (1992) y Torres *et al.* (1991) señalan beneficios en el crecimiento de cítricos al ser inoculados. Las plantas inoculadas con *Glomus* sp. Zac-6 y *Glomus fasciculatum* no se vieron afectadas por la dosis de P, ya que su altura fue estadísticamente igual ( $\alpha=0.05$ ) a la de plantas micorrizadas sin fertilización.

Para el diámetro de tallo, no se obtuvieron diferencias estadísticas debido a la

Cuadro 1. Tratamientos que se establecieron en el experimento.

---

$P_0$ = sin fertilizante	
1.	Testigo (plantas no inoculadas)
2.	<i>Gigaspora</i> sp. Zac-5
3.	<i>Glomus</i> sp. Zac-6
4.	<i>Glomus fasciculatum</i>
$P_1$ = 75 mg maceta <sup>-1</sup>	
5.	<i>Gigaspora</i> sp. Zac-5
6.	<i>Glomus</i> sp. Zac-6
7.	<i>Glomus fasciculatum</i>
$P_2$ = 200 mg maceta <sup>-1</sup>	
8.	<i>Gigaspora</i> sp. Zac-5
9.	<i>Glomus</i> sp. Zac-6
10.	<i>Glomus fasciculatum</i>

---



combinación de la inoculación y la fertilización en comparación con los sólo los inoculados, pero éstos sí fueron diferentes al testigo, excepto *Gigaspora* sp. Zac-5 con 200 mg de P. Las ventajas más significativas en el número de hojas, peso seco de la parte aérea y área foliar se obtuvieron con *Glomus* sp. Zac-6 + 200 mg de P, *Glomus fasciculatum* + 75 mg de P y *Glomus* sp. Zac-6 + 200 mg de P, respectivamente (Cuadro 2).

En el portainjerto Citrange Carrizo, todas las plantas inoculadas presentaron mayor altura, estadísticamente diferente, que las

plantas testigo (Figura 1). Se observó un efecto aditivo en ambos niveles de P con los tres endófitos micorrízicos; el tratamiento con *Glomus fasciculatum* + 200 mg de P fue el mejor.

Ambos niveles de fertilización favorecieron un mayor diámetro de tallo, número de hojas y peso seco, aunque estas diferencias no fueron significativas entre los tratamientos inoculados y los inoculados y fertilizados, pero sí con las plantas testigo. Los niveles de fertilización favorecieron una mayor área foliar, la cual fue más

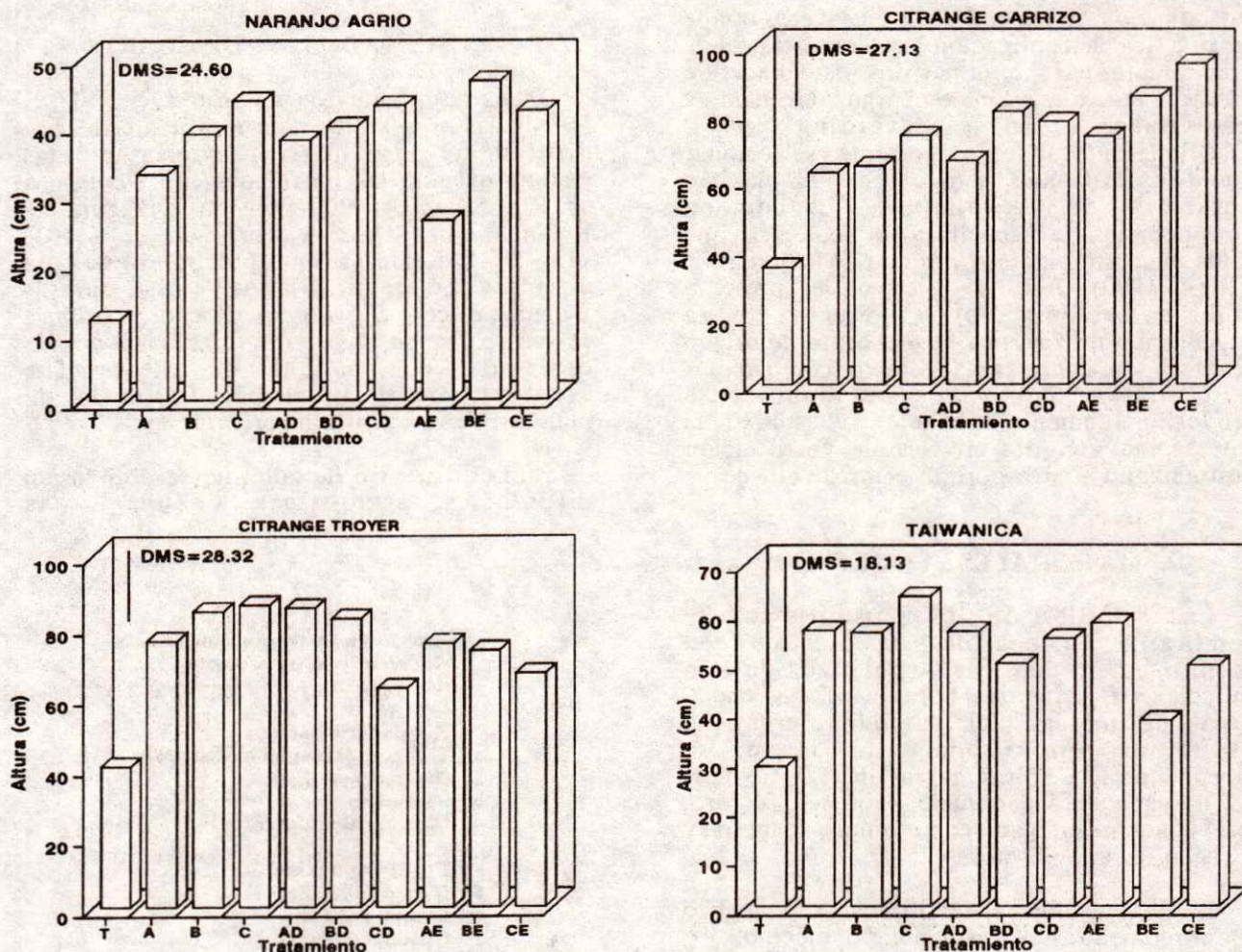


Figura 1. Altura de cuatro portainjertos de cítricos en función de la inoculación y la fertilización fosfatada. A=*Gigaspora* sp. Zac-5, B=*Glomus* sp. Zac-6, C=*Glomus fasciculatum*, D=75 mg de P maceta<sup>-1</sup>, E=200 mg de P maceta<sup>-1</sup>.



Cuadro 2. Efecto de la inoculación endomicorrizica sobre el diámetro de tallo (DT), número de hojas (NH), peso seco de la parte aérea (PS) y área foliar (AF) del portainjerto Naranja Agrio.

Tratamiento	DT	NH	PS	AF
	cm		g	cm <sup>2</sup>
<b>P=0</b>				
Testigo	0.27b	15c	0.68b	89.2b
Gigaspora sp. Zac-5	0.43a	25bc	2.48ab	280.3ab
Glomus sp. Zac-6	0.49a	33ab	3.84ab	398.7ab
Glomus fasciculatum	0.51a	32ab	4.39a	468.6a
<b>P<sub>1</sub>=75 mg de P maceta<sup>-1</sup></b>				
Gigaspora sp. Zac-5	0.50a	37ab	4.18a	457.0a
Glomus sp. Zac-6	0.48a	30ab	3.88ab	387.2ab
Glomus fasciculatum	0.51a	32ab	4.49a	470.3a
<b>P<sub>2</sub>=200 mg de P maceta<sup>-1</sup></b>				
Gigaspora sp. Zac-5	0.39ab	27abc	2.38ab	245.6ab
Glomus sp. Zac-6	0.53a	40a	4.00a	534.0a
Glomus fasciculatum	0.49a	30ab	4.03a	375.4ab

Letras idénticas en cada columna son estadísticamente iguales con base en la prueba de Tukey ( $\alpha = 0.05$ ).

Cuadro 3. Efecto de la inoculación endomicorrizica sobre el diámetro de tallo (DT), número de hojas (NH), peso seco de la parte aérea (PS) y área foliar (AF) del portainjerto Citrange Carrizo.

Tratamiento	DT	NH	PS	AF
	cm		g	cm <sup>2</sup>
<b>P=0</b>				
Testigo	0.47b	23c	2.28c	140.7c
Gigaspora sp. Zac-5	0.59ab	37b	4.34bc	251.2bc
Glomus sp. Zac-6	0.55ab	38b	4.35bc	269.2bc
Glomus fasciculatum	0.57ab	40ab	5.00ab	287.8b
<b>P<sub>1</sub>=75 mg de P maceta<sup>-1</sup></b>				
Gigaspora sp. Zac-5	0.64a	42ab	5.56ab	349.0ab
Glomus sp. Zac-6	0.65a	42ab	5.96ab	335.5ab
Glomus fasciculatum	0.59ab	42ab	5.50ab	303.0b
<b>P<sub>2</sub>=200 mg de P maceta<sup>-1</sup></b>				
Gigaspora sp. Zac-5	0.64a	39ab	5.56ab	337.6ab
Glomus sp. Zac-6	0.63a	44ab	5.52ab	341.4ab
Glomus fasciculatum	0.66a	48a	7.10a	446.2a

Letras idénticas en cada columna son estadísticamente iguales con base en la prueba de Tukey ( $\alpha = 0.05$ ).

significativa en el caso de *Glomus fasciculatum* (Cuadro 3).

También en Citrange Troyer, las plantas inoculadas presentaron mayor altura que las plantas testigo. Se observó que ambos niveles de P afectaron negativamente la altura en los

portainjertos inoculados con *Glomus fasciculatum*, y fueron estadísticamente iguales al testigo (Figura 1).

Las plantas inoculadas con *Gigaspora* sp. Zac-5 fueron las únicas que presentaron el mayor diámetro de tallo, estadísticamente diferente al diámetro de las plantas testigo. Para el número de hojas se observó un comportamiento similar (Cuadro 4). La adición de fósforo no afectó significativamente la eficiencia de los endófitos, excepto en el área foliar, donde *Glomus fasciculatum* se vió fuertemente afectado en ambos niveles de P (Cuadro 4).

En el portainjerto Taiwanica, todas las plantas inoculadas presentaron los mayores valores de altura, sin embargo, sólo las inoculadas con *Glomus fasciculatum* sin P y *Glomus* sp. Zac-6 + 200 ppm de P, presentaron diferencias estadísticas con respecto al testigo. Los niveles de fósforo no afectaron significativamente la expresión potencial de los endófitos (Figura 1). Las mejores respuestas en el diámetro de tallo, número de hojas, peso seco y área foliar se presentaron con *Glomus fasciculatum* (Cuadro 5).

Los hongos endomicorrizicos tuvieron una alta afinidad en los cuatro portainjertos, sin embargo, ambos niveles de fertilización, afectaron negativamente la colonización en los

Cuadro 4. Efecto de la inoculación endomicorrizica sobre el diámetro de tallo (DT), número de hojas (NH), peso seco de la parte aérea (PS) y área foliar (AF) del portainjerto Citrange Troyer.

Tratamiento	DT	NH	PS	AF
	cm		g	cm <sup>2</sup>
<b>P=0</b>				
Gigaspora sp. Zac-5	0.51b	29b	2.01b	163.7c
Glomus sp. Zac-6	0.65a	42a	5.32a	311.0b
Glomus fasciculatum	0.63ab	45a	5.84a	368.5b
<b>P<sub>1</sub>=75 mg maceta<sup>-1</sup></b>				
Gigaspora sp. Zac-5	0.64ab	47a	6.07a	345.3b
Glomus sp. Zac-6	0.62ab	43a	4.49ab	342.5b
Glomus fasciculatum	0.54ab	38ab	4.24ab	266.0bc
<b>P<sub>2</sub>=200 mg maceta<sup>-1</sup></b>				
Gigaspora sp. Zac-5	0.61ab	42a	5.06a	339.9b
Glomus sp. Zac-6	0.58ab	40a	6.49a	295.0bc
Glomus fasciculatum	0.58ab	37ab	3.99ab	300.4bc

Letras idénticas en cada columna son estadísticamente iguales con base en la prueba de Tukey ( $\alpha = 0.05$ ).



Cuadro 5. Efecto de la inoculación endomicorrízica sobre el diámetro de tallo (DT), número de hojas (NH), peso seco de la parte aérea (PS) y área foliar (AF) del portainjerto Taiwanica.

Tratamiento	DT	NH	PS	AF
	cm		g	cm <sup>2</sup>
<b>P=0</b>				
Testigo	0.38b	26b	1.99b	144.1b
<i>Gigaspora</i> sp. Zac-5	0.52ab	39ab	4.77a	351.0ab
<i>Glomus</i> sp. Zac-6	0.51ab	38ab	4.57ab	377.5a
<i>Glomus fasciculatum</i>	0.56a	44ab	5.70a	455.8a
<b>P<sub>1</sub>=75 mg maceta<sup>-1</sup></b>				
<i>Gigaspora</i> sp. Zac-5	0.47ab	41ab	4.93a	342.0ab
<i>Glomus</i> sp. Zac-6	0.50ab	37ab	4.29ab	325.8ab
<i>Glomus fasciculatum</i>	0.52ab	41ab	4.95a	381.8a
<b>P<sub>2</sub>=200 mg maceta<sup>-1</sup></b>				
<i>Gigaspora</i> sp. Zac-5	0.51ab	40ab	4.86a	373.5ab
<i>Glomus</i> sp. Zac-6	0.42ab	35ab	3.23ab	301.6ab
<i>Glomus fasciculatum</i>	0.47ab	53a	4.56ab	439.6ab

Letras idénticas en cada columna son estadísticamente iguales con base en la prueba de Tukey ( $\alpha = 0.05$ ).

portainjertos Carrizo, Troyer y Taiwanica. En naranjo agrio, sólo la dosis de 200 ppm de P tuvo tal efecto (Figura 2). Hoeffner *et al.* (1983) y Jaen *et al.* (1988) encontraron en manzana y papaya, respectivamente, una disminución en la colonización de los hongos V-A por adiciones de P al suelo. No se ha encontrado correlación entre el porcentaje de colonización y la respuesta en la planta (González y Ferrera-Cerrato, 1987).

El comportamiento de los hongos endomicorrízicos de origen mexicano, fue estadísticamente igual al de *Glomus fasciculatum*, caracterizado como especie altamente eficiente. Estas cepas nativas (de Zacatecas, México) representan un importante potencial para los cítricos y otros frutales altamente dependientes de la simbiosis micorrízica V-A.

El nivel de fertilización puede abatir e incluso nulificar el beneficio que los hongos endomicorrízicos le confieren a las plantas (Miller *et al.*, 1985). Los resultados obtenidos en el presente estudio demuestran que esto depende de la interacción endófito-hospedante y nivel de fertilización. En Troyer los efectos de todos los tratamientos fueron iguales, pero diferentes al testigo. Cardoso *et al.* (1987), Koch *et al.* (1982), Dharmaraj e Irulappan (1982), Schubert y Cammarata (1986)

informaron que el uso simultáneo de la fertilización e inoculación, puede mejorar el efecto de la simbiosis, en donde los endófitos son más eficientes con dosis adicionales de fósforo, como en el caso de Carrizo-*Glomus fasciculatum* y *Glomus* sp. Zac-5, ambas en combinación con 200 mg de P. Sin embargo, en algunos casos estas diferencias en el efecto no son estadísticamente diferentes con el testigo, tal es el caso de Carrizo-*Gigaspora* sp. Zac-5 + 75 mg de P maceta<sup>-1</sup>.

En términos generales, los resultados indican que los beneficios de la inoculación con hongos V-A a los portainjertos son: mayor altura y diámetro de tallo (parámetro que determina la fecha de injertación), mayor producción de biomasa, mayor crecimiento relativo, importante ahorro de espacio, tiempo y dinero. Estos valores pueden ser económicamente importantes para el viverista, si se considera que él trabaja con miles de plantas.

Gerdemann (1975) definió la dependencia micorrízica como el grado en que una planta depende de la condición micorrizada para producir su máximo crecimiento con un nivel dado de fertilidad del suelo. El portainjerto más dependiente fue el naranjo agrio, siguiéndole Troyer, Taiwanica y Carrizo (Figura 3). Las diferencias observadas en la dependencia son determinadas por el endófito micorrízico (como podemos observarlo) y, como lo señala Menge (1983), por las características morfológicas y fisiológicas de una planta y hasta por la especie, ya que también las variaciones entre genotipo son importantes (Crush y Caradus, 1980).

Torres *et al.* (1991) y Menge *et al.* (1978) encontraron una dependencia similar a la encontrada en naranjo agrio, sin embargo, en este estudio la dependencia fue menor para los otros portainjertos y, lo cual también va a estar determinado por las diferencias en la fertilidad del suelo (Bethlenfalvay *et al.*, 1985).

## AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan su agradecimiento al M.C. Jesús Pérez Moreno por la traducción del resumen y revisión del trabajo, al Ing. Alejandro Alarcón por la ayuda en el análisis estadístico y al M.C. Alfredo Echegaray Alemán por sus sugerencias y revisión del presente escrito.



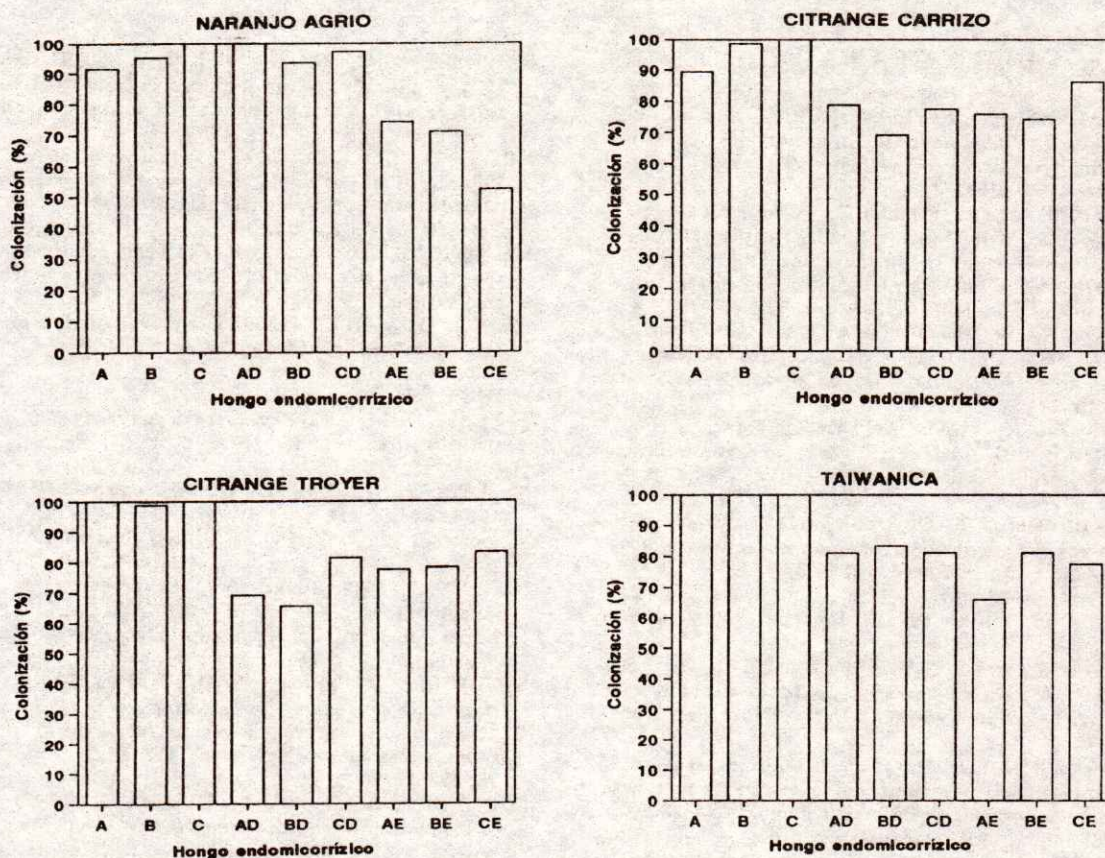


Figura 2. Colonización micorrízica de cuatro portainjertos de cítricos que recibieron inoculación y fertilización fosfatada. A=*Gigaspora* sp. Zac-5, B=*Glomus* sp. Zac-6, C=*Glomus fasciculatum*, D=75 mg de P maceta<sup>-1</sup>, E=200 mg de P maceta<sup>-1</sup>.

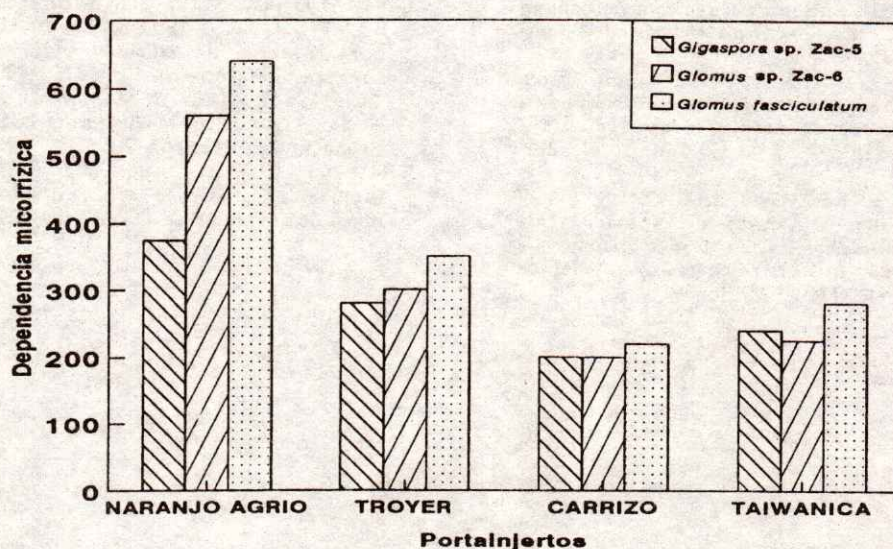


Figura 3. Dependencia micorrízica de cuatro portainjertos de cítricos.



## BIBLIOGRAFIA

- BETHLENFALVAY, G. J., J.M. URLICH, and M.S. BROWN. 1985. Plant response to mycorrhizal fungi: Host, endophyte and soil effects. *Soil Sci. Soc. Amer. J.* 49: 1164-1168.
- BOTELLO, G.J. J., R. FERRERA-CERRATO y C. GONZALEZ CHAVEZ. 1993. Respuesta de *Citrus aurantium* a la inoculación de hongos endomicorrízicos arbusculares utilizando diferentes niveles de inóculo. *Terra* 11: 178-184.
- CALDEIRA, S. F., M. CHAVEZ G. y L. ZABOLIN. 1983. Observaciones de micorriza vesicular arbuscular en diferentes especies de plantas. *Revista Ceres* 30: 19-24.
- CARDOSO, E. J., A.V. ANTUNES, and A.P. SILVEIRA. 1987. Effectiveness of vesicular arbuscular mycorrhizal fungi on citrus rootstock. *Abstracts of Trop Agric.* 12: 60450.
- CRUSH, J. R., and J.R. CARADUS. 1980. Effect of mycorrhizas on growth of some white clovers. *New Zeal. and J. Agric. Res.* 23: 233-237.
- DAVIS, R. M. 1982. Mycorrhizal fungus associated with citrus in south Texas. *Horticultural Abstr.* 52: 8342.
- DHARMARAJ, G., and I. IRULAPPAN. 1982. Response of avocado seedlings to *Glomus fasciculatum* a mycorrhizal fungus. *South India Horticulture* 30: 139-141.
- FERRERA-CERRATO, R. 1983. La micorriza en los diferentes agroecosistemas del Plan Zacapoaxtla, Pue. XVI Congreso Nacional de Microbiología. 24-28 de Abril. Chihuahua, Chih., México.
- GERDEMANN, J. W. 1975. Vesicular arbuscular mycorrhizae. pp. 575-591. In: J. G. Torrey and D. T. Clarkson (eds.). *The development and function of root.* Academic Press. New York.
- GONZALEZ CH. C. y FERRERA-CERRATO, R. 1987. Efecto del captán y la endomicorriza V-A sobre el desarrollo de plántulas de fresa provenientes del cultivo in vitro. *Rev. Lat-Am. Microbiol.* 29:193-199.
- GRAHAM, J. H., and D. FALDERMANN. 1986. Inoculation of citrus with root fragments containing chlamydospores of the mycorrhizal fungus *Glomus intraradices*. *Can. J. Bot.* 64: 1739-1744.
- HOEFFNER, E. F., B.L. KOCH, and R.P. COVEY. 1983. Enhancement of growth and phosphorus concentrations in apple seedlings by vesicular-arbuscular mycorrhizae. *J. Am. Soc. Hort. Sci.* 108: 207-209.
- JAEN, C.D., R. FERRERA-CERRATO y A. SANTIZO R. 1988. Dinámica de aparición de estructuras de endomicorriza en *Carica papaya* L. cultivar cera. p. 65. In: XIV Congreso Nacional de Fitopatología. Morelia, Mich., México.
- KLEINSCHMIDT, G. D., and J.W. GERDEMANN. 1972. Stunting of citrus seedlings in fumigated nursery soils related to the absence of endomicorrizae. *Phytopathology* 62: 1447-1453.
- KOCH, B. L., R.P. COVEY, and H.J. LARSEN. 1982. Response of apple seedlings in fumigated soil to phosphorus and vesicular arbuscular mycorrhiza. *HortScience* 17: 232-233.
- McGONIGLE, T. P., and A.H. FITTER. 1990. Ecological specificity of vesicular arbuscular mycorrhizal associations. *Mycological Research* 94: 120-122.
- MENGE, J. A. 1983. Utilization of vesicular arbuscular mycorrhizal fungi in agriculture. *Can. J. Bot.* 61: 1015-1024.
- MENGE J. A., L.V. JOHNSON, and R.G. PLATT. 1978. Mycorrhizal dependency of several citrus cultivars under three nutrient regimens. *New Phytol.* 81: 553-559.
- MILLER, D. D., P.A. DOMOTO, and C. WALKER. 1985. Mycorrhizal fungi at eighteen apple rootstock plantings in the United States. *New Phytol.* 100: 379-391.
- NEMEC, S. 1990. Plant roots as mycorrhizal fungus inoculum for citrus grow in the field in Florida. Eighth North American Conference on Mycorrhizae. Jackson, Wyoming.
- PHILLIPS, J. M., and D.S. HAYMAN. 1970. Improved procedures for clearing roots and staining parasitic and vesicular arbuscular mycorrhizal fungi for rapid assessment of infection. *Trans. Br. Mycol. Soc.* 75: 158-161.
- SCHUBERT, A., and S. CAMMARATA. 1986. Effect of inoculation with different endophytes on grown and P nutrition of grapevine plant grown in pots. In: V. Gianinazzi-Pearson, and S. Gianinazzi (eds.). *Physiological and genetical aspects of mycorrhizae.* INRA. Paris, Francia.
- SIEVENDING, E. 1991. Vesicular arbuscular mycorrhiza management in Tropical Agrosystems. Technical Cooperation, Federal Republic of Germany, Eschborn.
- TORRES, A. M., R. FERRERA-CERRATO, J.L. TIRADO T., M.C. GONZALEZ-CHAVEZ y J.A. SANTIZO R. 1991. Respuesta de cuatro portainjertos de cítricos a la inoculación con hongos endomicorrízicos. p. 167. In: J.L. Tovar S. y R. Quintero L. (eds.). *Memorias XXIV Congreso Nacional de la Soc. Mexicana de la Ciencia del Suelo.* Pachuca, Hgo. México.
- TRUFEM, S.F.B., and V.L. BONOMI. 1985. Micorrizas vesículo-arbusculares de cultivos introducidas em áreas de cerrado. *Rickia* 12: 165-187.



## EFICIENCIA Y PERDIDAS VIA DESNITRIFICACION DE FERTILIZANTES NITROGENADOS APLICADOS A SORGO CULTIVADO EN UN VERTISOL

Efficiency and Denitrification Losses of Different Nitrogen Sources for Sorghum Grown in a Vertisol

Guillermo Vázquez Navarro, Juan Manuel de la Fuente Martínez y Juan José Peña-Cabriales

CINVESTAV-IPN, Unidad Irapuato, Apartado Postal 629, 36500 Irapuato, Gto. México.

*Palabras clave:* Urea, Nitrato de amonio, Sulfato de amonio, *Sorghum bicolor* L.

*Index words:* Urea, Ammonium nitrate, Ammonium sulphate, *Sorghum bicolor* L.

### RESUMEN

Se analizaron experimentos de campo en Vertisoles del Bajío guanajuatense, México, para determinar la eficiencia de diferentes fuentes de nitrógeno para el cultivo de sorgo (*Sorghum bicolor* L. Moench), además de probar diferentes fechas de aplicación. Los fertilizantes estudiados (urea, nitrato de amonio y sulfato de amonio) se aplicaron en una dosis total de 180 kg N ha<sup>-1</sup>, divididos en dos y tres aplicaciones. Se utilizaron fertilizantes marcados con <sup>15</sup>N (1% de átomos en exceso) para determinar el porcentaje de nitrógeno en la planta derivado de los fertilizantes en cuatro estadios del desarrollo del cultivo. Los resultados no mostraron diferencias significativas en rendimiento agronómico para fuentes ni para fechas de aplicación. Sin embargo, el fraccionamiento isotópico del nitrógeno en planta presentó diferencia significativas entre tratamientos. El sulfato de amonio

mostró la mejor eficiencia y contribuyó con 44% del nitrógeno total del cultivo, en promedio, mientras que la urea proporcionó sólo 37% de los contenidos de N del cultivo. Las aplicaciones de N en la siembra presentaron los valores de recuperación más altos (40 a 65%) del N aplicado mientras que las aplicaciones en la floración fueron las de menor recuperación (15 a 20%).

En un ensayo aparte se determinó la pérdida de fertilizantes nitrogenados vía desnitrificación, empleando la técnica del inhibición por acetileno de la óxido nitroso-reductasa. Se utilizó el sistema de dispersión de McConnaughey y Duxbury para colectar el N<sub>2</sub>O acumulado. La cuantificación del N<sub>2</sub>O se realizó por cromatografía de gases con una columna Porapak Q y detector de captura electrónica. Los fertilizantes estudiados fueron urea, amoniaco anhidro y sulfato de amonio, con una dosis de 240 kg N ha<sup>-1</sup>, divididos en dos y tres aplicaciones. Los eventos desnitrificantes de mayor magnitud se presentaron hacia el inicio del cultivo y en condiciones de humedad contrastantes, es decir, altas emisiones de N<sub>2</sub>O ocurrieron cuando el suelo presentó 53 y 33% de humedad. Las pérdidas vía desnitrificación representaron 32% de la urea aplicada en tres fechas y 21%, en promedio, de la urea aplicada en dos fechas. Valores similares fueron observados para amonio y amoniaco, aplicados en ambos esquemas de fertilización.

Recibido 3-93.



### SUMMARY

Field experiments were conducted in Vertisols of the "Bajío" region of Mexico to assess the nutritional efficiency of some chemical nitrogen sources for sorghum at different application times. The fertilizers studied (urea, ammonium nitrate and ammonium sulphate) were band applied during sowing, 2nd cultivation and flowering time to a total rate of  $180 \text{ kg N ha}^{-1}$ .  $^{15}\text{N}$  labelled fertilizers (1% atom excess) were used to determine the percentage of nitrogen in plants derived from the fertilizers at four different developing stages of the crop. The data showed no statistical differences in grain and total nitrogen yield between sources and time of N application. However the isotopic fractionation of the nitrogen in plants showed significant differences between the treatments tested. Ammonium sulphate showed the best efficiency, 44% of the total nitrogen in crop was derived from this source, while urea supplied only 37% of the crop N contents. The N application at sowing time showed the highest recovery values (40 to 65%) of the added nitrogen, while applications at flowering time resulted in the smallest ones (15 to 20%).

In a separate trial the nitrogen fertilizer loss through denitrification was measured with the acetylene inhibition technique using the McConnaughey-Duxbury dispersion system to collect  $\text{N}_2\text{O}$  produced. The  $\text{N}_2\text{O}$  was quantified by gas chromatography using Porapak Q column and electron capture detector.

The fertilizers studied were urea, anhydrous ammonia, and ammonium sulphate to a total rate of  $240 \text{ kg N ha}^{-1}$  applied in two or three dates.

Large denitrifying activities occurred at crop initial growth in contrasting soil moisture conditions, this was when the soil had 53 and 33% moisture. Denitrification losses accounted for 32% of the urea applied in three dates and 21% as a mean value for urea applied in two dates.

### INTRODUCCION

Tradicionalmente la aplicación de fertilizantes ha sido una de las prácticas comunes más utilizadas para incrementar la productividad agrícola. Este enfoque no

siempre ha considerado la eficiencia de las diferentes fuentes. A este respecto el trabajo de Fried (1970, 1973) Roy y Wright (1974) y otros (Broeshart, 1974; FAO, 1980; Fried *et al.*, 1975), han mostrado que no todas las fuentes orgánicas poseen la misma eficiencia para promover el crecimiento y la producción de los cultivos. Estudios sobre el destino de las fuentes nitrogenadas que se aplican al sistema agrícola son de urgente necesidad, puesto que a últimas fechas se han venido utilizando dosis cada vez mayores para mantener los rendimientos. El Bajío guanajuatense es una región de México en la que se destina una área de 500 000 ha para los cultivos de trigo y sorgo, a las cuales se aplica una dosis de  $240 \text{ kg N ha}^{-1}$ ; diez años atrás la dosis recomendada era de  $120 \text{ kg de N ha}^{-1}$ . Como una de las consecuencias del incremento en la explotación intensiva se tiene que durante este periodo se ha observado un continuo decremento en el contenido de materia orgánica de los suelos (INIA-CIAB, 1981).

El nitrógeno en la naturaleza está sujeto a reacciones de oxidación y reducción que convierten una especie química del elemento en otra. Dentro del metabolismo bacteriano se tienen dos rutas por las cuales se reduce: 1) nitrato asimilación, y 2) desnitrificación. La desnitrificación es reconocida como fenómeno biológico desde hace poco más de un siglo (Focht, 1982; Gayón y Dupetit, 1986). Durante este periodo ha recibido atención no solo por el interés intrínseco en la reacción, sino porque además posee significado potencial en la práctica agrícola. Se considera como uno de los principales mecanismos por los que se pierden los fertilizantes nitrogenados (Knowles, 1982). La desnitrificación es especialmente un proceso respiratorio donde el nitrato substituye al oxígeno como aceptor final de electrones y es reducido hasta nitrógeno molecular que retorna a la atmósfera (Alexander, 1980; Fried, 1973; Ingraham, 1981).

El presente trabajo tuvo como objetivos: 1) determinar la eficiencia de diferentes fuentes nitrogenadas aplicadas al cultivo de sorgo, y 2) cuantificar las pérdidas via desnitrificación.



## MATERIALES Y METODOS

## Eficiencia de Fertilizantes Nitrogenados.

El experimento se localizó en Irapuato, Gto., México, centro de la región conocida como El Bajío. Su ubicación geográfica es 20°44' de latitud norte, 101°19' de longitud oeste, a 1750 m sobre el nivel del mar. La temperatura promedio es de 16 a 18°C, y la precipitación anual de 650 mm. El suelo predominante se clasifica como Vertisol pélico, con textura arcillosa, ligeramente alcalino, sin problemas salinos, pobre en materia orgánica y nitrógeno total, contenido medio de fósforo y muy rico en calcio, potasio y magnesio. En el Cuadro 1 se presentan algunas características físicas y químicas del suelo donde se desarrolló el experimento.

Cuadro 1. Análisis de suelo del sitio experimental donde se determinó la eficiencia de diferentes fuentes nitrogenadas.

Determinación	Valor
Arena (%)	17.5
Limo (%)	26
Arcilla (%)	57
pH	7.5
Materia orgánica (%)	1.3
N (%)	0.1
P (ppm)	0.95
K (ppm)	12.5
Ca (ppm)	2290
Mg (ppm)	520
Cond. eléctrica (mmho cm <sup>-1</sup> )	0.270

Se fertilizó con 180 kg de nitrógeno y 60 kg de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> por hectárea. Se emplearon técnicas isotópicas de <sup>15</sup>N para poder discriminar en la planta el nitrógeno proveniente del suelo o del fertilizante.

El experimento se diseñó como un factorial completo (3 x 5) instalándose en el terreno bajo un esquema de bloques completos al azar con seis repeticiones. Los factores de estudio fueron: a) fuentes de nitrógeno: urea (46% N), nitrato de amonio (33.5% N) y sulfato de amonio (20.5% N); b) época y dosis de aplicación (Cuadro 2). El fertilizante se aplicó a 5 cm, por debajo y a un lado de las líneas de siembra; el fósforo (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) se aplicó en su totalidad junto con la fracción del nitrógeno en el momento de la siembra. Se

Cuadro 2. Época y dosis de fertilización aplicadas.

Siembra	2a. labor (45 dds) <sup>y</sup>	Floración (92 dds)
kg N ha <sup>-1</sup>		
90 <sup>x</sup>	90	xx
90	90 <sup>x</sup>	xx
60 <sup>x</sup>	60	60
60	60 <sup>x</sup>	60
60	60	60 <sup>x</sup>

x = Adición de fertilizante enriquecido con 1% de N-15 a.e.

y = Días después de la siembra.

utilizó sorgo híbrido comercial "Master Irapuato/D.R.", con una densidad de 18 kg de semilla ha<sup>-1</sup>. La unidad experimental se constituyó por siete surcos de 5 m de longitud y 76 cm de separación; la parcela isotópica y la de rendimiento estuvieron formadas por dos surcos de 3 m de longitud. Los fertilizantes marcados se utilizaron con 1% de átomos en exceso (a.e.) de <sup>15</sup>N (otorgado por el Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares, México).

Las variables analizadas fueron: 1) rendimiento de materia seca; 2) N total en planta (%), 3) a.e. <sup>15</sup>N en la planta (%), y 4) rendimiento en grano. El análisis de las variables se realizó en cuatro etapas de cultivo: a) segunda labor (45 días después de sembrar); b) fin de la floración (92 días después de sembrar); c) madurez fisiológica (121 días después de sembrar); y (d) madurez de corte (162 días después de sembrar). Las primeras tres variables se determinaron en la parcela isotópica y la cuarta en la de rendimiento.

En rendimiento de materia seca se determinó gravimétricamente al material cosechado en una área de 0.76 m<sup>2</sup> (15 plantas de la parcela isotópica). El nitrógeno total se determinó por el método Kjeldahl modificado para la inclusión de nitratos en material vegetal (Bremner, 1960). El porcentaje de a.e. <sup>15</sup>N se cuantificó mediante espectrometría de masas (espectrómetro Micromass mod. 622) utilizando la reacción de oxidación del amonio de Rittenberg (Fiedler y Prosksch, 1975). El rendimiento en grano (con 14% de humedad, determinador Steinlite) se determinó en una área de 4.52 m<sup>2</sup>.



El porcentaje de N proveniente del fertilizante se calculó utilizando la fórmula:  $\%N_{pdF} = \% \text{ a.e. }^{15} \text{ muestra} / \% \text{ a.e. }^{15} \text{ N del fertilizante}$ .

#### Pérdidas de Fertilizantes Nitrogenados Vía Desnitrificación.

Se realizó un estudio de campo en Irapuato, Gto., en un terreno dedicado al cultivo de cereales en rotación. Algunas características físicas y químicas del suelo donde se localizó el experimento se presentan en el Cuadro 3. Como planta indicadora se utilizó sorgo, híbrido comercial D-64 (Dekalb), sembrado en densidad de 18 kg de semilla  $\text{ha}^{-1}$ . Se determinó el efecto de diferentes fertilizantes nitrogenados y su esquema de aplicación sobre la actividad desnitrificante con un diseño de tratamientos factorial. Los factores a evaluar fueron: 1) fertilizantes nitrogenados: urea, sulfato de amonio y amoniaco; 2) esquemas de fertilización para cada fuente nitrogenada, aplicando una dosis total de 240 kg de N  $\text{ha}^{-1}$ : a) 120 kg, aplicados al pie a los 45 días; b) 80 kg aplicados en el momento de la siembra; c) 80 kg, aplicados al pie a los 30 días y d) 80 kg, aplicados a los 60 días. Como testigos se tuvieron un tratamiento sin fertilización nitrogenada, y otro fertilizado sin sembrar (240 kg de N como urea aplicados al inicio del estudio). Todos los tratamientos recibieron fertilización fosforada a razón de 60 kg de  $\text{P}_2\text{O}_5 \text{ ha}^{-1}$ , aplicados en banda en el momento de sembrar. Se utilizó un diseño experimental de bloques completos al azar con ocho tratamientos y tres repeticiones. La unidad experimental fue una parcela de cinco surcos con separación de 76 cm y longitud de 10 m.

Cuadro 3. Análisis de suelo del sitio donde se determinaron las pérdidas de fertilizantes nitrogenados vía desnitrificación.

Determinación	Valor
Arena (%)	27
Limo (%)	18.8
Arcilla (%)	53.2
Textura	Arcilla
pH	7.6
Materia orgánica (%)	1.53
N (%)	0.11
P (ppm)	8.84
K (ppm)	256
Ca (ppm)	9163
Mg (ppm)	686
Cond. eléctrica ( $\text{mmho cm}^{-1}$ )	0.784

Se determinó la actividad desnitrificante en campo mediante la técnica de inhibición por acetileno de la oxido nitroso reductasa (Duxbury, 1981). El acetileno, generado en el mismo sitio de análisis a partir de  $\text{CaC}_2$ , se introdujo al suelo mediante el sistema de dispersión de McConnaughey y Duxbury (1986) empleando un flujo de 20-30  $\text{mL min}^{-1}$  durante las 6 h de incubación. Para acumular los gases liberados del suelo se utilizó una cámara de sistema cerrado (cilindro de policloruro de vinilo, PVC, con dimensiones de 25 cm de diámetro por 15 cm de alto, acondicionada con tubo muestreador y ventila para evitar desplazamiento de gases durante su colocación). La cámara se colocó sobre el mismo surco de siembra, para lo cual se decapitaron las plantas contenidas en tal área. Al fin de la incubación se tomó 1 mL del espacio gaseoso de la cámara y se transportó en vial serológico (7 mL) para su análisis cromatográfico. La cuantificación del  $\text{N}_2\text{O}$  se realizó en un cromatógrafo de gases Hewlett Packard 5880, equipado con detector de captura electrónica  $^{63}\text{Ni}$  y columna de vidrio (3 mm x 1.8 m) empacada con Porapak Q 80/100 mallas (Supelco) operando el inyector a 100°C, el horno a 50°C y el detector a 350°C. Como gas acarreador se utilizó  $\text{N}_2$ , con un flujo de 30  $\text{mL min}^{-1}$ . Las áreas integradas por el cromatógrafo para el  $\text{N}_2\text{O}$  se convirtieron a nM por ajuste a una curva estándar de  $\text{N}_2\text{O}$  comercial (99% puro, AGA) en aire. Se realizaron muestreos cada siete días. Se comparó la actividad desnitrificante entre tratamientos mediante análisis de varianza para cada muestreo y para la producción acumulada a lo largo de 120 días de cultivo. Se realizó separación de medias por el método de Tukey.

## RESULTADOS Y DISCUSION

### Eficiencia de Fertilizantes Nitrogenados.

Como se observa en el Cuadro 4, el análisis de varianza no mostró diferencias significativas en el rendimiento de grano y materia seca para las diferentes fuentes nitrogenadas ni para los esquemas de fertilización ensayados. El rendimiento en grano fue de 7.17  $\text{t ha}^{-1}$ , el cual es similar al rendimiento comercial reportado para esta región (INIA-CIAB, 1981).



Cuadro 4. Análisis de varianza para el rendimiento de grano de sorgo ( $t\ ha^{-1}$ ).

Fuentes de variación	G.L.	S.C.	C.M.	F calculada
Repeticiones	5	38.1568	7.631	
Tratamientos	14	18.1374	1.296	9,02**
Error	70	59.2427	0.8463	1,53 n.s.
<b>Total</b>	<b>89</b>	<b>115.5369</b>		
Prom. general:		7.17 $t\ ha^{-1}$		
Desv. de medias:		0.92		
Coef. de var.:		12.83%		

N.S. =  $P < 0.05$ \*\* =  $P > 0.01$ 

El rendimiento de nitrógeno del cultivo manifestó una tendencia similar, puesto que no se observaron diferencias significativas entre tratamientos. El rendimiento de nitrógeno promedio observado al final del ciclo (madurez de corte) fue de  $152.86\ kg\ ha^{-1}$ , con una desviación estándar de  $18.33\ kg\ ha^{-1}$ . Resultados similares han sido reportados por Danso y Zapata (1981), quienes relacionan esta uniformidad entre tratamientos con el hecho de que el rendimiento es el resultado de la interacción de factores genéticos y ambientales, donde la fuente del nutrimento nitrogenado es sólo uno de ellos.

Aun cuando no se pudo determinar un efecto agrónomicamente significativo en el atribuible a la fuente nitrogenada o a la época de aplicación, la partición isotópica del nitrógeno en la planta de sorgo permitió observar contrastes muy interesantes que pusieron de manifiesto diferencias apreciables en la eficiencia relativa de las fuentes de nitrógeno disponibles para el cultivo. El Cuadro 5 presenta el porcentaje de nitrógeno proveniente del fertilizante (%NpdF) en la etapa de madurez de corte y el Cuadro 6 muestra el análisis de varianza de esta variable.

La demanda de nitrógeno por el cultivo ocurrió principalmente durante los tres primeros meses; después de este tiempo, el cultivo no removió más nitrógeno del suelo o de las diferentes fuentes aplicadas.

El comportamiento de cada fuente de N durante los diferentes muestreos se ilustra en la Figura 1. En esta figura se expresan los equivalentes en  $kg\ ha^{-1}$  del porcentaje de  $N_2$

Cuadro 5. Porcentaje de nitrógeno en el cultivo proveniente de las fuentes estudiadas al momento de la cosecha (162 días después de la siembra).

Fuentes		Tratamientos	
		90 $kg\ ha^{-1}$	60 $kg\ ha^{-1}$
Urea	Fertilizante		
	1a. aplic.	19.11	20.45
	2a. aplic.	23.06	17.98
	3a. aplic.	xx	7.98
	Total	42.17	46.41
	Promedio		44.29
	Suelo	57.83	53.59
Nitrato	Promedio		55.71
	Fertilizante		
	1a. aplic.	25.28	18.17
	2a. aplic.	24.27	18.06
	3a. aplic.	xx	9.71
Total	50.51	45.94	
	Promedio		48.05
	Suelo	49.85	54.06
Sulfato	Promedio		51.85
	Fertilizante		
	1a. aplic.	26.59	25.72
	2a. aplic.	23.96	21.74
	3a. aplic.	xx	6.67
Total	50.55	54.13	
	Promedio		52.34
	Suelo	49.45	45.87
	Promedio		47.66

Cuadro 6. Análisis de varianza para el porcentaje de nitrógeno proveniente del fertilizante.

Fuentes de variación	G.L.	S.C.	C.M.	F calculada
Repeticiones	5	30	5.955	0.89 N.S.
Tratamientos	14	1067.8217	76.273	11.45 **
Error	70	466.2363	6.6605	
<b>Total</b>	<b>89</b>	<b>1563.8329</b>		
Promedio general		11.34% NpdF		
Var. de medias		2.58		
Coef. de var.		15.75%		

N.S. =  $P < 0.05$ \*\* =  $P > 0.01$ 

en el cultivo tomado del fertilizante. Así el %NpdF a los 45 días de la siembra fue desde un mínimo de 31.95 para urea hasta un máximo de 46.71 para el sulfato de amonio cuando se aplicaron 90  $kg$  de N, en tanto que para la aplicación de 60  $kg$  de N se tuvieron valores de %NpdF desde 31.79 para nitrato de amonio a



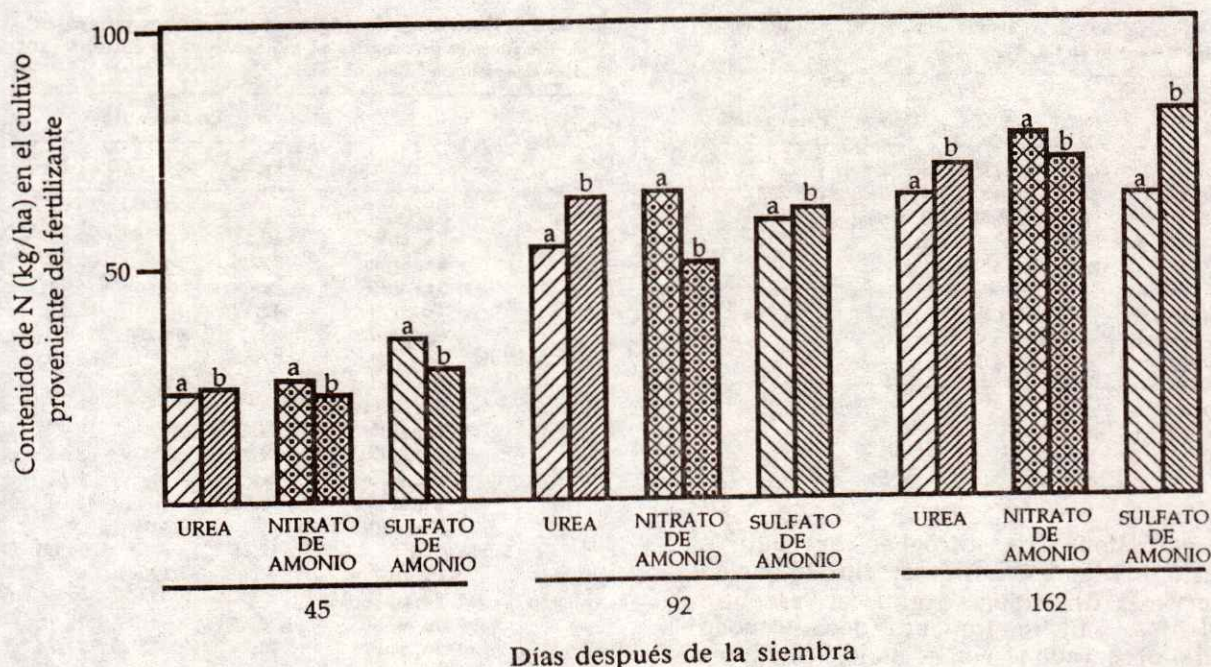


Figura 1. Nitrógeno en planta de sorgo (Master Irapuato/D.R.) derivado de fertilizante aplicado. Fuentes nitrogenadas: urea, nitrato de amonio y sulfato de amonio (marcadas con  $^{15}\text{N}$  1% de átomos en exceso) en una dosis total de  $180 \text{ kg N ha}^{-1}$ . a= dosis dividida en dos aplicaciones (90 kg al sembrar y 90 kg a los 45 días); b = dosis total dividida en tres aplicaciones (60 kg al sembrar, 60 kg a los 45 días y 60 kg a los 92 días).

39.49 del sulfato de amonio. La aplicación de  $90 \text{ kg de N ha}^{-1}$  en el momento de la siembra presentó una mayor utilización cuando se aplicaron como nitrato de amonio y sulfato de amonio, en tanto que la urea fue utilizada más eficientemente cuando se aplicaron  $60 \text{ kg de N ha}^{-1}$  al sembrar.

En el segundo muestreo (floración del cultivo, 92 días después de sembrar) se tuvo un %NpdF, para los tratamientos con aplicación de la dosis total en dos fechas, de 32.81, para urea, 35.47 para sulfato de amonio, y 43.25 para nitrato de amonio. Para los tratamientos en los cuales la dosis total se dividió en tres aplicaciones el % NpdF fue de 30.36 para nitrato de amonio, 37.02 para sulfato de amonio y 37.05 para urea.

La eficiencia de los fertilizantes químicos se mantuvo prácticamente sin cambios significativos durante la madurez fisiológica del cultivo (121 días después de la siembra) respecto a las observadas en floración (datos no mostrados).

En el momento de la cosecha (madurez de corte, 162 días después de sembrar), el %NpdF fue de 42.17 para urea, 50.15 para nitrato de amonio y 50.55 para sulfato de amonio, cuando la dosis total se dividió en dos aplicaciones, mientras que cuando se dividió en tres aplicaciones el % NpdF fue de 45.94 para nitrato de amonio, 46.41 para urea y 54.13 para sulfato de amonio.

De los esquemas de fertilización estudiados se tuvo que la división de la dosis total en tres aplicaciones permitió una mayor utilización de urea y sulfato de amonio, mientras que para nitrato de amonio se observó una máxima utilización cuando la dosis total se dividió en dos aplicaciones. En general, las aplicaciones en el momento de la floración presentaron un mínimo de incorporación al cultivo.

Como resultados globales se tiene para el cultivo de sorgo un %NpdF de 37 para urea, 40 para nitrato de amonio y 44 para sulfato de amonio.



Los resultados del presente estudio indican que el nitrógeno del suelo proporciona más de 50% de los requerimientos del cultivo de sorgo de este nutrimento. Esta observación podría explicar el incremento de las dosis de fertilización para trigo y sorgo en esta región, los cuales han pasado de 140 a 240 kg de N ha<sup>-1</sup> en los últimos 10 años. Los trabajos de Hart *et al.* (1986) sobre la interacción de las fuentes de nitrógeno cuando se aplican fertilizantes nitrogenados al suelo han originado el concepto de "efecto iniciador" al probable mecanismo que explique la disponibilidad del nitrógeno de la fuente suelo como consecuencia del ingreso al suelo de nitrógeno inorgánico (Jenkinson *et al.*, 1986). Estos autores sugieren que las altas dosis de fertilización aplicadas incrementan la disponibilidad del nitrógeno del suelo a las plantas y contribuyen al decremento en el contenido de materia orgánica de los suelos. De manera similar, se tiene que el contenido de materia orgánica de los suelos sometidos al cultivo intensivo de gramíneas de El Bajío ha disminuido de 2.5 a 1.5% en los últimos 10 años.

#### Pérdidas de Fertilizantes Nitrogenados Vía Desnitrificación.

De acuerdo con los resultados anteriores, y teniendo en cuenta la naturaleza del suelo estudiado (textura arcillosa, ligeramente

alcalino) y el manejo de las tierras cultivadas, se procedió a cuantificar las pérdidas de fertilizantes nitrogenados vía desnitrificación.

El Cuadro 7 muestra que, en general, la actividad desnitrificante para cada fuente de nitrógeno ensayada fue cualitativamente similar para los esquemas de fertilización estudiados (dos o tres aplicaciones). De igual manera, se tiene que la producción de N<sub>2</sub>O se localizó, presentándose a las tres semanas para los tratamientos fertilizados con sulfato de amonio, a las cinco semanas para urea y hasta la semana 10 para amoniaco anhidro y ambos testigos, mientras que en los fertilizados con urea ocurrió en la quinta y sexta semana.

Todos los tratamientos presentaron picos de actividad desnitrificante cuando la humedad en suelo alcanzó valores máximos, lo cual se esperaba puesto que la desnitrificación es un proceso respiratorio bacteriano que opera en condiciones anaerobias en sitios donde se encuentran óxidos iónicos de nitrógeno y materia orgánica (Bryan, 1981; Haider *et al.*, 1985). De manera interesante se tiene la observación de actividad desnitrificante de magnitud considerable para los tratamientos fertilizados con sulfato de amonio y amoniaco cuando la humedad del suelo fue de 30%, lo cual hace considerar la participación de la

Cuadro 7. Producción de N<sub>2</sub>O en campo cultivado con sorgo fertilizado con diferentes fuentes de nitrógeno<sup>x</sup>.

Tiempo	Agua Aprovechable	Urea		Sulfato de amonio		Amoniaco anhidro		Fertilizado sin siembra	Sembrado sin fertilización
		2 Aplic. <sup>s</sup>	3 Aplic. <sup>y</sup>	2 Aplic. <sup>s</sup>	3 Aplic. <sup>y</sup>	2 Aplic. <sup>s</sup>	3 Aplic. <sup>y</sup>		
Semana	%	----- g N ha <sup>-1</sup> h <sup>-1</sup> -----							
1	23	6	9	11	9	4.5	4.0	6.0	3.5
2	18	2.5	1.5	1	1	0.5	0.5	4	3
3	8	10	12	15	46	21	15	25	8
4	12	1	1	1.5	1.5	0.5	0.5	0.5	0.5
5	28	11	50	12	9	13.5	21.5	8	5.5
6	23	13	10	5	8	21.1	8.5	4	3
7	16	1	1	3	3	0.5	0.5	3	3.5
8	22	9	12	5	4	15	12	3.5	3
9	24	9	12	4.5	8	8	8.5	11.5	9.5
10	26	6	14	3	3	7.5	20	5	4.5
11	22	6	7	3	4	5	4.5	1	0.5
12	20	7	8	4	5	4	5.5	3	2.5
13	16	1.5	1.5	3	3	3.5	6	1	0.5

s) 120 kg N ha<sup>-1</sup> al sembrar y 120 a los 45 días.

y) 80 kg N ha<sup>-1</sup> al sembrar, 80 kg a los 30 días y 80 a los 60 días.

x) La dosis total para todas las fuentes fue de 240 kg ha<sup>-1</sup>.



nitrificación en tal evento; tal consideración se hace porque aun al aplicar acetileno (inhibidor de la nitrificación), la incubación en campo tiene el tiempo suficiente para colectar el  $N_2O$  que en ese momento se encontraba en difusión (Duxbury, 1981).

Al respecto Robertson y Tiedje (1987) proponen como fuentes del  $N_2O$  en suelos aeróbicos a la nitrificación, a la misma desnitrificación (en micrositios anaeróbicos producidos por agregados) o a otros mecanismos aún por descubrir.

El análisis de varianza para la actividad desnitrificante cuantificada para cada muestreo a lo largo de 120 días de establecido el cultivo, determinó diferencias entre tratamientos solo para la quinta y sexta semana. Esto se explica con base en el elevado coeficiente de variación (desde 17 a 200) y en que los diferentes tratamientos siguieron un patrón de actividad similar. Por lo anterior, se evaluó estadísticamente la producción acumulada (como  $kg$  de  $N$   $ha^{-1}$ ) a lo largo de 120 días de cultivo. El estadístico mostró diferencia significativa entre tratamientos, y el análisis de medias por el método de Tukey estableció tres grupos, que agrupó a los tratamientos en forma decreciente respecto a las pérdidas de nitrógeno vía desnitrificación: 1) urea, tres aplicaciones; 2) amoníaco, tres aplicaciones; amoníaco, dos aplicaciones; sulfato de amonio, tres aplicaciones; urea, dos aplicaciones; sulfato de amonio, dos aplicaciones; y testigo con  $N$ , sin plantas; y 3) testigo sin  $N$ , con plantas.

Aun cuando la actividad desnitrificante para el testigo sin fertilización nitrogenada y sembrado fue la menor, se puede considerar importante puesto que acumuló un tercio de las pérdidas más altas (urea, tres aplicaciones); esto es reflejo de la gran movilidad del elemento en el sistema, favorecida en gran medida por las condiciones presentes a lo largo del cultivo (elevada humedad del suelo y raíces que contribuyen con materia orgánica).

La pérdida de  $N$  vía desnitrificación a lo largo de 120 días fue del orden de 15 a 27  $kg$   $ha^{-1}$  para el grupo intermedio, y de 32  $kg$   $ha^{-1}$  para el tratamiento más activo (urea, tres aplicaciones), lo cual representa para los primeros una pérdida de 6 a 11% del  $N$  aplicado, y de 13% para el último. En estudios similares Duxbury y McConnaughey (1986) señalan pérdidas de 3% vía

desnitrificación en suelos que reciben 20  $kg$  de  $N$  a la siembra y 120  $kg$  de  $N$  a los 30 días; considerando que estos suelos son de textura liviana y que en forma natural los suelos que no reciben fertilizantes nitrogenados presentan las tasas de pérdida vía desnitrificación más bajas (pastizales 0.5  $kg$   $N$   $ha^{-1}$  año y bosques 0.9  $kg$   $N$   $ha^{-1}$  año<sup>-1</sup>), se infiere que la producción de  $N_2$  vía desnitrificación además de estar determinada por la naturaleza del suelo, es en gran medida producto de una explotación no racional del recurso (Duxbury *et al.*, 1982).

### LITERATURA CITADA

- ALEXANDER, M. 1980. Introducción a la microbiología del suelo. Traducción al español de J.J. Peña C. AGT Editor, S.A. México.
- BREMNER, J.M. 1960. Isotope ratio analysis of nitrogen 15 tracer investigations. Agricultural and Home Econ. Bull. Iowa Sta. university. Ames Iowa.
- BROESHART, H. 1974. Quantitative measurement of fertilizer uptake by crops. Neth J. Agric. Sci. 22: 245-254.
- BRYAN, B.A. 1981. Physiology and biochemistry of denitrification, pp. 67-84. In: C.C. Delwiche (ed.) Denitrification, nitrification and atmospheric nitrous oxide. John Willey and Sons. New York.
- DANSO SKA, and F. ZAPATA. 1981. Proceedings of the workshop on the use of N-15 and radioisotopes in studies of plant nutrition. Vienna International Center. Vienna.
- DUXBURY, J.M. 1981. Technical addendum to denitrification and total gaseous N loss from soils. Cornell University Press. New York.
- DUXBURY, J.M., D.R. BUOULDIN, R.E. TERRY and R.L. TATE. 1982. Emission of nitrous oxide from soils. Nature 208: 462-464.
- DUXBURY, J.M. and P.K. Mc. CONNAUGHEY. 1986. Effect of fertilizer source on denitrification and nitrous oxide emissions in a maize field. Soil Sci. Am. J. 50: 644-648.
- FOCHT, D.D. 1982. Denitrification. pp. 194-211. In: R.O. Burns and, J.H. Slater (ed.). Experiment microbial ecology. Blackwell Sci. Boston.
- FAO. 1980. Maximizing the efficiency of fertilizer use by grain crops. FAO Fertilizer Bulletin No. 3. Rome.
- FIEDLER, R., and G. PROKSCH. 1975. The determination of nitrogen-15 by emission and mass spectrometry in biochemical analysis: A review. Analytica Chimica Acta 78: 1-62.
- FRIED, M. 1970. Direct quantitative assessment in the field of fertilizer management practices. Vienna International Center. Vienna.
- FRIED, M. 1973. The effect of cultural practices on efficiency of fertilizer use determined by direct measure in field experiments. pp. 963-987. In: "Semaine d'étude sur l'emploi des fertilisants et leur effect sur l'acroissement des récoltes, notamment par rapport a qualite et a l'economie". Pontifician Academie Scientiarum Scripta Varia No. 38.



- FRIED, M., R.J. SOPPER, and H. BROESHART. 1975. 15-N labelled single treatment fertility experiments. *Agron. J.* 67: 393-396.
- GAYON, E. et G. DUPETIT. 1986. Recherches sur la reduction des nitrates par les infiniments petits. *Soc. Sci. Phys. Nat. Bordeaux Ser.* 32: 201-307.
- HAIDER, K., A. MOISER, and O. HEINEMEYER. 1985. Phytotron experiments to evaluate the effect of growing plants on denitrification. *Soil Soc. Am. J.* 49: 639-641.
- HART P.B.S., J.H. RAYNER, and D.S. JENKINSON. 1986. Influence of pool substitution on the interpretation of fertilizer experiments with N-15. *J. Soil Sci.* 37: 389-403.
- IAEA/FAO JOINT DIVISION. 1976. Tracer manual on crops and soils. Technical report series No. 171. International Atomic Energy Agency. Vienna.
- INGRAHAM, J.L. 1981. Microbiology and genetics of denitrifiers pp. 45-66. In: C.C. Delwiche (ed.) *Denitrification, nitrification and atmosphere nitrous*. John Willey and Sons. New York.
- INIA-CIAB. 1981. Logros y aportaciones de la investigación agrícola en el estado de Guanajuato. Campo Agrícola Experimental Bajío. Celaya, Gto. México.
- JENKINSON, D.S., R.H. FOX, and J.H. RAYNER. 1986. Interaction between fertilizer nitrogen and soil nitrogen the so called 'priming effect'. *J. Soil Sci.* 36: 425-444.
- KNOWLES, R. 1982. Denitrification. *Microb. Rev.* 46: 43-70.
- ROBERTSON, G.P., and J.M. TIEDJE. 1987. Nitrous oxide sources in aerobic soils: Nitrification, denitrification and other biological sources. *Soil Biol. Biochem.* 10: 187-193.
- ROY, N.R., and B.C. WRIGHT. 1974. Sorghum growth and nutrient uptake in relation to soil fertility. II. Nitrogen, phosphorus and potassium uptake pattern by various plant parts. *Agron. J.* 66: 5-10.



**ALGUNOS ASPECTOS DEL FACTOR HUMANO SOBRE LA EROSION DEL SUELO**  
**Estudio de caso en Coatlinchán, México**

Some Aspects of the Human Factor on Soil Erosion.  
The Coatlinchan, Mexico Case Study

Antonio Becerra M., Jorge L. Tovar S., Marcela Ortiz S. y  
Enrique Ojeda T.

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

*Palabras clave:* Erosión, Factor humano,  
Conservación de suelos.

*Index words:* Erosion, Human factor, Soil  
conservation.

**RESUMEN**

Debido a la importancia del factor humano para un efectivo control de la erosión, en 1985 la FAO sugirió poner énfasis en aspectos sociales, culturales, económicos e institucionales, relacionados con dicho problema. En este contexto, en 1991 se desarrolló el presente trabajo en Coatlinchán, Méx., y se exploró el conocimiento que tienen los agricultores locales de la erosión y de las prácticas para su control. Con este objetivo se aplicó una encuesta a 22% de la población ejidal, y se encontró en ella tradición por la agricultura, así como conocimiento de la erosión y de varias prácticas para su control; sin embargo, el pequeño tamaño de la dotación individual, y la amplia desigualdad en los ingresos de la agricultura con los otros sectores de la producción, han provocado que ésta, e incluso el cuidado de la tierra, sea relegada a un plano secundario.

**SUMMARY**

Due to the importance of the human factor for an effective control of soil erosion, the FAO (1985) suggested to put emphasis on social, cultural, economical and institutional factors involved in the problem. In this context, in 1991, an investigation in Coatlinchan, Mex. was carried out to explore the local farmers knowledge about soil erosion and its control. A survey was applied to 22% of ejidal population. It was found that people have agricultural knowledge regarding erosion and soil conservation practices. Nevertheless, the little individual land holding and the strong inequality of the income in agricultural activities in relation to the other production sectors, have provoked that people relegate conservation practices to a secondary level.

**INTRODUCCION**

Entre los recursos naturales utilizados por el hombre sobresalen por su importancia el suelo y el agua. Actualmente éstos se encuentran seriamente amenazados por diversos procesos de degradación, en los cuales el hombre ha jugado un papel importante. Tan solo en el caso del suelo se ha dicho que al ritmo actual de degradación, en menos de 200 años la humanidad habrá deteriorado todas las tierras productivas del planeta (Duarte, 1990).

Recibido 1-93.



La erosión constituye uno de los principales procesos de degradación del suelo (IADB, 1983). En relación con ella se han realizado diversas investigaciones en el último siglo, pero generalmente se han estudiado los factores físicos de la erosión, mientras el factor humano ha sido relativamente ignorado. Esta "ignorancia" no puede ni debe continuar, pues la aceleración del proceso ha sido causada precisamente por la actividad del hombre.

Con este enfoque se realizó la presente investigación en la zona de Coatlinchán, Méx., con la finalidad de obtener algunos estimadores sobre el conocimiento que tienen los ejidatarios de la localidad sobre la erosión, sus causas y medidas de combate.

### REVISION BIBLIOGRAFICA

#### Aspectos Generales sobre la Erosión.

De acuerdo con FAO (1984) la erosión del suelo es causada por factores naturales (climáticos y topográficos) y humanos. Cuando predominan estos últimos, se dice que la erosión es inducida o acelerada, y se da a través del uso y manejo de la tierra por el hombre, fundamentalmente por sus efectos sobre la cubierta vegetal.

La influencia del hombre sobre la erosión es muy compleja y todavía no completamente entendida ni fácilmente cuantificable (Stocking, 1980); sin embargo, se han determinado algunos factores socioeconómicos que influyen en la erosión, como son: la presión demográfica, tenencia de la tierra, falta de información técnica, dificultad para admitir innovaciones y mal ingreso de las actividades primarias (FAO, 1983).

Por otro lado, el conjunto de prácticas utilizadas para combatir la erosión constituyen la conservación de suelos. Al respecto, como indicó Stocking (1981), para diseñar una buena estrategia de conservación es necesario conocer ambos tipos de factores: los agentes físicos de la erosión y los requerimientos socioeconómicos de los usuarios de la tierra.

Además, el reconocimiento de la erosión a nivel técnico no implica una adopción amplia de medidas correctivas, lo cual puede deberse a que no se conocen las técnicas para el

combate de la erosión, o bien, a que los usuarios de la tierra no están convencidos de que ese sea el problema (IADB, 1983).

Muy relacionado con lo anterior, Saxton, citado por Hallsworth (1987), analizó la psicología de la "no aceptación" de recomendaciones sobre conservación de suelos, y la sintetizó en los siguientes puntos:

- a) El agricultor no se da cuenta de que está ocurriendo erosión en su terreno.
- b) Si se da cuenta de lo anterior, pero no cree que sea importante.
- c) Se da cuenta del proceso y de su importancia, pero no sabe que hacer.
- d) Sabe del proceso, su importancia y de las prácticas para evitarlo, pero no tiene los medios para hacerlo.

A su vez, Hallsworth (1987) indicó que entre los obstáculos que impiden un efectivo control de la erosión, hay algunos de tipo psicológico o "barreras mentales", y señala las siguientes:

- a) La creencia de que la erosión siempre ha existido en el pasado, y por lo tanto es natural que esté ocurriendo en el presente.
- b) La creencia de que la erosión inducida es un fenómeno asociado enteramente con los tiempos modernos.
- c) La creencia de que todo lo necesario para controlar la erosión en las zonas tropicales puede ser aprendido de los éxitos obtenidos en los países del hemisferio norte.
- d) La creencia de que los agricultores son ineficientes y despreocupados del daño que causan a sus terrenos.
- e) La creencia que tienen algunos agricultores de que sus prácticas no dañan a la tierra, de que la erosión no es un problema serio para su parcela.

En síntesis, la importancia que pueden tener los aspectos inherentes al hombre en el éxito o fracaso de un determinado proyecto de conservación de suelos fue expresada por Stocking (1981) al decir: "si los agricultores del tercer mundo no pueden o no hacen conservación del suelo, de corazón, ninguna cantidad de modelos, estudios empíricos, establecimiento de riesgos de erosión o legislación, dará por resultado la preservación del suelo".



Considerando la importancia del factor humano en los procesos de degradación del suelo, FAO (1985) propuso realizar investigación sobre los siguientes aspectos en relación con la conservación del suelo:

- a) estudios de caso de la erosión y sus causas, tomando en cuenta los efectos de los factores social, cultural y físico.
- b) investigación sobre los efectos de los factores sociales e institucionales como causas de erosión o de inhibir las medidas de conservación.
- c) adaptación de técnicas de conservación de suelos a las condiciones físicas, económicas y sociales de países y áreas particulares.

#### Investigaciones Afines Realizadas en la Zona.

Entre los países latinoamericanos, México ha sido señalado como uno de los que presentan erosión más severa (Lal, 1979), y varios estudios nacionales indican que al menos 80% del territorio nacional está afectado por este problema.

En el caso particular de la zona oriental del exlago de Texcoco, la erosión de los terrenos es evidente. Además, por su ubicación cerca de la ciudad de México, y por estar en ella la Universidad Autónoma Chapingo y el Colegio de Postgraduados, esta zona es una de las más estudiadas con trabajos sobre erosión y conservación de suelos en el país, aunque, al igual que en las escalas nacional y mundial, se ha puesto énfasis sobre todo en los factores físicos más que en los relativos al hombre.

No obstante, cuatro de las investigaciones desarrolladas en la última década en esta zona incluyeron aspectos relacionados con el factor humano, entre sus conclusiones se tiene que: a) los pobladores de la zona reconocieron a la erosión como problema aunque concedieron más importancia a otros (Canahua, 1986; Ortiz, 1986); b) existe un vínculo sentimental del hombre con su tierra, pero diversas circunstancias le obligan a mantener una relación inadecuada con la naturaleza (Rivera, 1990); y c) algunos tipos locales de utilización de la tierra han permitido la conservación del suelo (Mejía, 1984).

## MATERIALES Y METODOS

### La Zona de Estudio.

El presente trabajo fue realizado en el ejido de Coatlinchán, Méx., población ubicada en la parte oriental de la cuenca del Valle de México, a 35 km de la capital del país. Los terrenos del ejido se localizan al oriente del poblado, entre las coordenadas 19°24'20" y 19°28'30" latitud norte, y 98°49'00" y 98°52'44" longitud oeste, con una altitud de 2230 m (Figura 1). Los suelos predominantes son Feozem háplico, la precipitación media anual es de 600 mm, y la temperatura media anual 16 °C.

Demográficamente, durante décadas la tendencia poblacional local mantuvo cierto paralelismo con el crecimiento nacional, pero de 1980 a 1990, el crecimiento demográfico tomó una tendencia acelerada, al grado que en 10 años la población de Coatlinchán se duplicó, alcanzando la cifra de 7200 habitantes en el censo de 1990.

Oficialmente, el ejido de Coatlinchán consta de 2477 ha, dotadas en los años de 1931 y 1937, de las cuales alrededor de 30% fueron entregadas como tierra cultivable, y el resto como tierras de pastoreo y "otras". El parcelamiento individual se realizó exclusivamente en las tierras de labor, localizadas en terrenos de clase IIcs, (con limitantes de clima y suelo), en subzonas conocidas localmente como: a) San Pedro, b) Chichina, c) La Presa, y d) Miamolar-Las Minas (Figura 1).

De las 838 ha del ejido con uso agrícola, 94.5% son tierras de temporal, en las cuales la siembra generalmente se realiza entre la segunda quincena de mayo y la primera de junio.

### Metodología.

Como marco de muestreo se utilizó la lista de ejidatarios de Coatlinchán (324), con un esquema de muestreo aleatorio simple y un tamaño de muestra de 77 ejidatarios. A éstos se les aplicó un cuestionario a través de entrevistas individuales y, posteriormente, se realizaron observaciones en sus parcelas en relación con la erosión y las prácticas de conservación de suelos utilizadas.



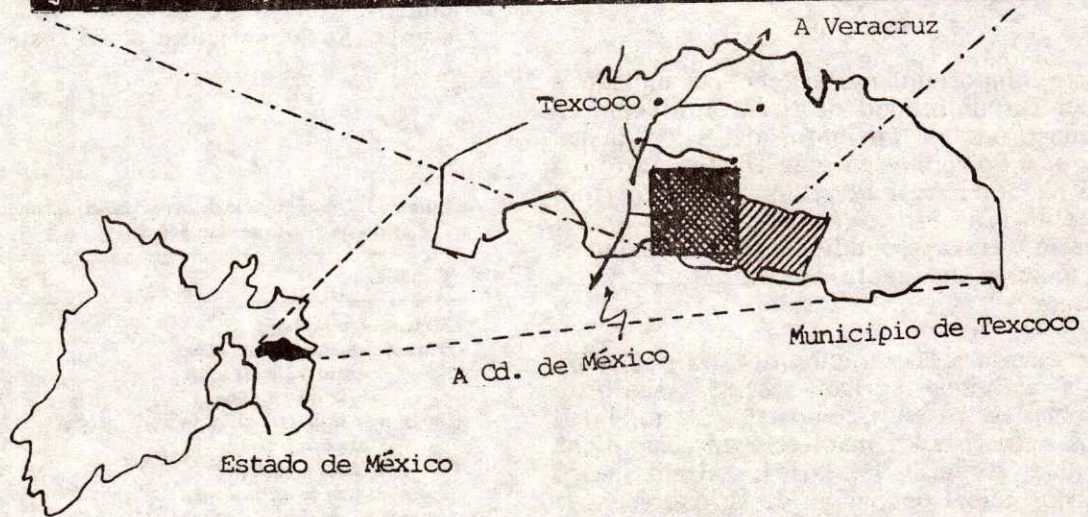
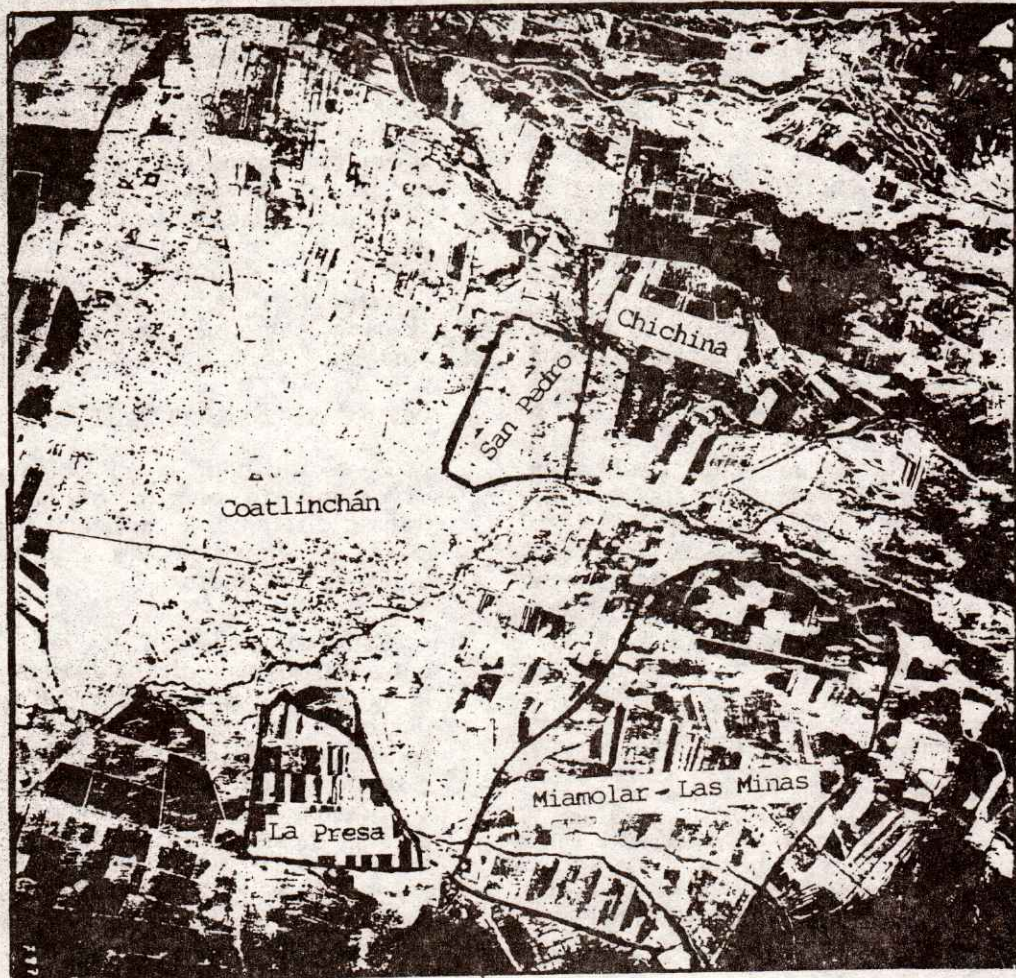
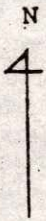


Figura 1. Ubicación de la zona de estudio. Coatlinchán, Méx. 1991.



El análisis de la información obtenida incluyó: frecuencias, proporciones, tablas de contingencia, correlaciones, prueba de  $X^2$  e intervalos de confianza para proporción poblacional. Se utilizó microcomputadora, y los módulos SAS/STAT, SAS/QC y LOTUS.

## RESULTADOS Y DISCUSION

### Edad, Escolaridad y Tradición Agrícola de los Entrevistados.

Los resultados obtenidos indicaron que la población ejidal (titular) de Coatlinchán está compuesta predominantemente por personas mayores de edad, con más de 50 años en 62.3% de los casos. Por otro lado, 90% de dicha población manifestó haber asistido a la escuela, aunque sólo uno de cada tres terminó la primaria.

Sobre esto último, aunque no se colectó información sistemática sobre el particular, se detectó una tendencia generacional con respecto a escolaridad (a) y ocupación (b) como sigue:

Padre del contestante	Contestante	Hijos del contestante
a: No fue a la escuela	Primaria incompleta	Muchos con primaria, varios secundaria, y algunos profesional
b: Agricultor de tiempo completo	Agricultor de tiempo parcial	Muchos ya no se dedican a la agricultura

Este comportamiento se debe, por un lado, a la poca disponibilidad de tierra cultivable en la zona, pues los miembros del ejido tienen una dotación individual que fluctúa entre 0.5 y 1.5 ha de tierra cultivable. Por otro lado, se debe también a la crisis del sector primario y el correspondiente flujo de mano de obra hacia los sectores industrial y de servicios.

En cuanto a la tradición de esta población por la actividad agrícola, 81.8% manifestó tener más de 20 años como tal, y la totalidad de los entrevistados manifestó apreciar dicha actividad. Además, 93.5% de los mismos indicó que la principal ocupación de su padre era la agricultura. Ambos aspectos indican que la tradición por esta ocupación es alta.

No obstante esa alta tradición agrícola, es evidente la tendencia generacional a dedicarse cada vez con mayor preferencia a actividades ajenas a la agricultura. Ello obedece, en parte, a la poca disponibilidad de tierra en la localidad. Sin embargo, de acuerdo con los comentarios de muchos entrevistados "la agricultura ya no deja muchas veces ni para los gastos", dicha tendencia se debe también al relativo congelamiento de los ingresos de quienes laboran en el sector primario, llevado a cabo en las últimas décadas; el continuo desestímulo al campo no solo se llevó de éste al capital, también se está llevando a los hombres.

### Importancia Relativa de la Agricultura.

De totalidad de la población entrevistada, 84% manifestó tener y 16% haber tenido un trabajo diferente del agrícola, y por un lapso mayor de 20 años en 50% de los casos, como se indica en el Cuadro 1.

Estos datos indican que solo 15.6% de los entrevistados se dedicaba de tiempo completo a la agricultura al momento del estudio, y, en dos casos, después de haberse jubilado en el sector terciario. Además, de los 10 restantes, algunos son propietarios de tractor y obtienen gran parte de sus ingresos por el alquiler de su trabajo con éste.

Por otro lado, 63.6% manifestó dedicar más tiempo a su otro trabajo que a la agricultura, y 11.7% les dedica un tiempo similar, lo que confirma el predominio de las ocupaciones ajenas a la agricultura en esta población ejidal.

Cuadro 1. Competencia de otros trabajos con la agricultura en el ejido de Coatlinchán, Méx.

Variable	Frecuencia	%
Tienen otro trabajo	65	84.4
Durante: menos de 10 años	17	22.1
entre 10 y 20 años	22	28.6
más de 20 años	38	49.4
Le da más importancia a la agricultura	10	15.4
al otro trabajo	17	26.2
igual a ambos	38	58.5
Gana más en la agricultura	5	7.7
Gana más en el otro trabajo	58	75.3
Gana similarmente en ambos	2	3.1



Al preguntar sobre la suficiencia del ingreso obtenido de su parcela para satisfacer las necesidades familiares, la totalidad de la población entrevistada contestó que no le es posible satisfacerlas bien con sólo ese ingreso, y 53.2% manifestó que no satisface con él ni las más indispensables (Cuadro 2).

#### Conocimiento del Proceso Erosivo.

De los 77 ejidatarios entrevistados, 76 respondieron afirmativamente a la pregunta ¿cree Ud. que la tierra se desgasta o erosiona? Esta respuesta indica que la población estudiada se da cuenta del proceso erosivo de los suelos, captado cuando menos en las formas más evidentes para ellos como lo expresaron algunos: "por el deslave de los terrenos" y "el empobrecimiento de la tierra por el mucho uso que se le da". Además, al explorar sobre las causas a las cuales se atribuye la erosión, 73% indicó que se debe a dos o tres de las anotadas en el Cuadro 3.

De acuerdo con los datos del Cuadro 3, se reconoció a la acción de la lluvia, el viento y la topografía (en "otras causas") en el proceso erosivo, pero aún más interesante resultó el hecho de que con mayor frecuencia

**Cuadro 2. Insuficiencia del ingreso agrícola para los ejidatarios de Coatlínchán, Méx. 1991.**

Nivel de insuficiencia	Frecuencia	%
- Satisface bien las NEF*	0	0
- Satisface gran parte de NEF	15	19.5
- Satisface las más indispensables	21	27.3
- Ni las más indispensables	41	53.2

\* Necesidades económicas familiares.

**Cuadro 3. Causas a las cuales se atribuye la erosión del suelo en el ejido de Coatlínchán, Méx. 1991.**

Causa	Frecuencia	%
Sólo a la lluvia y el viento	34	44.2
El laboreo de la tierra por el hombre	29	37.7
El tipo de cultivos que se siembran	6	7.8
Uso de maquinaria y agroquímicos	24	31.2
Falta de recursos para mejorar la tierra	6	7.8
Descuido o mal trato	39	50.6
Otras causas	30	39.0

se atribuyó el problema a causas relacionadas con el hombre, como son el laboreo de la tierra y el descuido en su protección.

#### Barreras Psicológicas.

De las cinco barreras mencionadas por Hallshworth (1987), sólo una incumbe directamente a los agricultores: "la creencia de que sus prácticas no dañan a la tierra".

En el presente trabajo, esa creencia fue manifestada por 85.7% de los entrevistados; sin embargo, no en todos estos casos tal creencia se debe a la presencia de dicha barrera, pues muchos de ellos consideran que la erosión está controlada en su parcela, sea porque topográficamente no hay riesgo de ello, o bien porque la parcela tiene bordos, zanjas, maguey u otras obras de protección.

En efecto, de los 66 entrevistados que consideraron no causar erosión con su actividad en el uso de la tierra, en 59.1% las observaciones parcelarias indicaron erosión no observable o ligera, lo cual sugiere que su apreciación en cuanto al grado de control de la erosión en su parcela tiene fundamento. Sin embargo, en los demás casos con esta respuesta, se observaron manifestaciones de erosión moderada (25.8%) y grave (15.1%).

La incongruencia para estos casos (35% de la población estudiada), entre lo manifestado por los usuarios de la tierra y lo observado en su parcela, indica la presencia de la barrera psicológica mencionada, con las consecuencias desfavorables que ello implica para un efectivo control de la erosión.

Entre las posibles explicaciones a lo anterior, se debe señalar que no es posible precisar cuando ocurrió la erosión actualmente observable, pues las tierras de la zona se han utilizado desde tiempos prehispánicos, y definitivamente no es posible atribuir el estado actual de la erosión sólo a los actuales usuarios.

Es posible que a los usuarios actuales, además de haber recibido su parcela con cierto grado de deterioro, por la frecuencia con que están en su terreno, les pasen desapercibidos los cambios producidos por la erosión; tal vez para muchos de ellos su parcela está "igual que antes".



Por otro lado, al explorar la apreciación de esta población en la comparación de la erosión actual con la que ocurría en décadas pasadas, 85.7% de los entrevistados consideraron que la erosión es mayor en la actualidad, 7.8% respondió que ha sido de magnitud similar antes y ahora, y 6.5% opinó que era mayor en el pasado.

En su opinión, la mayor intensidad de la erosión actual se debe a que: a) se provoca menos erosión si se trabaja la tierra con yunta y arado manual que con tractor; b) los agricultores de pasadas décadas se dedicaban más a su tierra y la cuidaban mejor; c) antes se fertilizaba con estiércol, y no con químicos.

Sobre estos aspectos, la revisión de algunos conceptos redescubiertos en los últimos años, como son la labranza de conservación, agricultura orgánica, y agricultura sostenible, parecen sugerir que, en buena medida, esos agricultores tienen razón.

#### Conocimiento de las Prácticas de Conservación.

Al investigar sobre el conocimiento de las prácticas para conservar el suelo, se obtuvieron los resultados que se presentan en el Cuadro 4.

Como se puede observar en el Cuadro 4, las hileras de maguey y la construcción de zanjas y bordos fueron las prácticas de conservación más conocidas como tales por esta población. Estas obras presentan la ventaja de que pueden ser construidas con mano de obra del propio

Cuadro 4. Conocimiento de las prácticas de conservación por los ejidatarios de Coatlinchán, Méx. 1991.

Práctica de conservación	Frecuencia	%
Surcado al contorno	16	20.8
Bordos	67	87.0
Zanjas	74	96.1
Terrazas	48	62.3
Hileras de magueyes	75	97.4
Cultivos tupidos	2	2.6
Incorporación de los residuos al suelo	28	36.4
Aplicación estiércol	39	50.6
Abonos verdes	2	2.6

agricultor, con pico y pala. Al respecto, 81.8% de los entrevistados manifestó que eventualmente dedica tiempo para hacer este tipo de trabajos, mientras 19.5% indicó que las hacen con mano de obra contratada.

Las terrazas fueron reconocidas como prácticas de conservación por 60% de la población, mientras que las prácticas vegetativas relacionadas con el manejo de cultivos fueron mencionadas como tales sólo por 2.6%.

Sobre esto último, es interesante observar que muchas personas no conceptualizan algunas de las prácticas incluidas en el Cuadro 4 como técnicas para conservar el suelo, aunque se les utilice por otras razones; el caso más patente al respecto es la siembra de cultivos tupidos, utilizados por 69% de los entrevistados, pero reconocido sólo por 2.6% de los mismos, como práctica de conservación.

#### CONCLUSIONES

1. La mayoría de la población estudiada manifestó conocimiento de la erosión y sus causas, así como de las prácticas mecánicas más comunes para su control.
2. Como actividad económica, la agricultura ha pasado a ocupar un plano secundario en esta población.
3. Entre las causas del uso actual de la tierra, además de las limitaciones naturales, se tiene al pequeño tamaño de la dotación individual y al bajo ingreso en el sector primario.
4. Al menos una tercera parte de la población estudiada indicó estar afectado de la barrera psicológica consistente en creer que sus prácticas en el uso de la tierra no provocan erosión.

#### LITERATURA CITADA

- CANAHUA M., A. 1986. Conceptualización y toma de conciencia de las comunidades de la subcuenca del río Texcoco respecto a la conservación de sus recursos naturales. Tesis de Maestro en Ciencias. Colegio de Postgraduados. Montecillos, Méx.
- DUARTE, R. 1990. Contribución del representante y jefe de la Misión diplomática de la FAO en México. pp. 97-103. In: Memorias del Primer Simposium Nacional sobre Degradación de Suelos. México, D.F.



- FAO. 1983. Mantengamos viva la tierra. Causas y remedios contra la erosión. Roma, Italia.
- FAO. 1984. Metodología provisional para la evaluación y la representación cartográfica de la desertificación. Roma.
- FAO. 1985. Soil conservation and management in developing countries. Soil bull. 33. Roma.
- HALLSHWORT E., G. 1987. Anatomy physiology and psychology of erosion. IFIAS. John Wiley and Sons. London.
- IADB (Inter-American Development Bank). 1983. Natural resources in Latin America. Washington, D.C.
- LAL, R. 1979. Review of soil erosion research in Latin America. pp. 232-240. *In*: D.J. Greenland, and R. Lal. 1979. Soil conservation and management in humid tropics. John Wiley and Sons.
- MEJIA V., L.E. 1984. Uso del levantamiento fisiográfico para propósitos de evaluación de tierras en la cuenca del río Texcoco. Tesis de Maestría en Ciencias. Colegio de Postgraduados, Chapingo, Méx.
- ORTIZ S., M.L.M. 1986. Evaluación de la velocidad de desertificación en la cuenca del río Texcoco (efecto de la tecnología, inversiones y factor humano). Tesis de Maestría en Ciencias. Colegio de Postgraduados, Montecillo, Méx.
- RIVERA V., J.J. El uso del maguey (*Agave sp*) en la conservación del suelo. Tesis de Maestro en Ciencias. Colegio de Postgraduados. Montecillo, Méx.
- STOCKING, M. 1980. Ecological and environmental indicators for the rapid appraisal of natural resources. *Agricultural Administration* 8: 473-484.
- STOCKING, M. 1981. Conservation strategies for less development countries. pp. 376-383. *In*: R.P.C. Morgan (ed.). Soil conservation. Problems and prospects. John Willey and Sons.



## EFFECTO DE LA FERTILIZACION POTASICA AL SUELO SOBRE LA PRODUCCION DEL MANZANO (*Malus pumila* Mill)

Effect of the Soil Applied Potassium Fertilization on the Production of Apple (*Malus pumila* Mill)

Jesús Pilar Amado Alvarez

Campo Experimental Sierra de Chihuahua, INIFAP, Apartado Postal 554, Cd. Cuauhtémoc, Chih.

*Palabras clave:* Análisis de suelo y de follaje de manzano, Nutrición potásica, Componentes de rendimiento en manzano.

*Index Words:* Analysis of soils and leaves of apple, Nutrition of potassium, Component of yield of apple.

### RESUMEN

Los fruticultores del noroeste del estado de Chihuahua, tienden a sobrefertilizar con potasio los huertos de manzano, principalmente en los municipios de Namiquipa y Guerrero donde el 45 y 17% respectivamente presentó altas concentraciones de potasio en las hojas del manzano (2.14 y 2.33% de K). Además se registraron otros desequilibrios nutricionales, por lo que se planteó como objetivo; conocer los efectos del potasio sobre el desarrollo y rendimiento del manzano, así como la dosis de mantenimiento que permita usar este nutrimento adecuadamente.

En marzo de 1986 se inició un estudio de campo, el cual concluyó en diciembre de 1988, en un huerto de manzano Cv. Golden Delicious/Franco de 22 años de edad plantado en marco real a 7.0 m.

Recibido 2-93.

En el trabajo se utilizó un diseño completamente al azar con cuatro tratamientos: (1) 60-50-0, (2) 60-50-50, (3) 60-50-100, (4) 60-50-150 y cuatro repeticiones. Se determinaron las principales propiedades físicas y químicas del suelo y la concentración de potasio en las hojas del manzano. Se evaluaron tres parámetros de vigor y tres de rendimiento, los cuales se analizaron de acuerdo con el diseño mencionado. El análisis de los parámetros de vigor y de rendimiento, indica que la mejor respuesta se obtuvo con el tratamiento 60-50-50. En cuanto a producción, los árboles tratados con esta dosis produjeron en promedio de los tres años de estudio 2181 frutos por árbol, con un diámetro ecuatorial de 6.32 cm y un rendimiento total de 174.1 kg árbol<sup>-1</sup> equivalente a 35.5 t ha<sup>-1</sup>.

### SUMMARY

The apple growers from the northwest of Chihuahua state overfertilize with potassium; this mainly occurs in the municipalities of Namiquipa and Guerrero where the 45 and 17% respectively of the samples were found with high concentrations of potassium in the leaves of apple trees (2.14 and 2.33% of K). Besides, other nutritional abnormalities were found for this reason, the objective of this work was to study the effects of potassium on



the development and yield of the apple tree, and to find the rate of maintenance for efficient use of this nutrient.

In March 1986 it was carried out a field study, and it was finished in December 1988, in an apple orchard cultivar Golden Delicious with standard seedling 22 years old planted in a royal frame to 7.0 m. The experimental design was a completely randomized design. The treatments were: (1) 60-50-0, (2) 60-50-50, (3) 60-50-100, (4) 60-50-150 with four replications. The principal physical-chemical characteristics of the soil were determined as well as the potassium concentration in the apple tree leaves. Three parameters of vigor and three of apple yield were evaluated.

The analysis of the vigor and yield parameter showed that the best response was obtained with the treatment 60-50-50. In relation with apple production the trees with such treatment yielded 2181 fruits per tree in an average of tree years; the equatorial diameter was 6.32 cm and the total yield 174.1 kg tree<sup>-1</sup> representing 35.5 t ha<sup>-1</sup>.

## INTRODUCCION

El uso del potasio para producir manzana en la Sierra de Chihuahua se hace en forma heterogénea. Amado (1989) registró que los fruticultores tienden a sobrefertilizar con este nutrimento: el 45% de los huertos estudiados en el municipio de Namiquipa presentó alta concentración de potasio en las hojas (2.14%); en el municipio de Guerrero, el 17% de los huertos también presentó este problema (2.33% de K en el follaje), situación que se presentó en forma similar en el 16% de los huertos de Bachíniva (2.17% de K), mientras que en el municipio de Cuauhtémoc el 12.5% de los predios frutícolas es sobrefertilizado con este nutrimento, puesto que la concentración en el follaje fue de 2.01% de K.

Esta situación provocó desequilibrios nutricionales dentro de los cuales sobresalen deficiencias de magnesio en el 30% de los huertos estudiados, lo cual indica que los productores de manzana practican la fertilización potásica sin ninguna base técnica y provocan desviaciones como la anotada.

De los elementos nutritivos, el potasio en los suelos está comúnmente en niveles adecuados, sin embargo, el margen de fluctuación del contenido total del potasio que se presenta en el suelo es enorme (Reitemeier, 1951).

La importancia del potasio en la producción agrícola ha sido reconocida solamente desde el principio del siglo XIX, aun cuando los beneficios producidos por las materias orgánicas o inorgánicas que contienen potasio fueron registrados muchos años antes. Como elemento esencial para el crecimiento de las plantas, el potasio presenta un serio problema a los investigadores que desean establecer su rol y funciones exactas en las plantas; así Lawton y Cook (1954) manifiestan que a diferencia del N, P, Ca y Mg, el ion K no entra en combinaciones orgánicas permanentes en las plantas, pero existe aparentemente como sales solubles orgánicas e inorgánicas.

Estos investigadores afirman que el potasio afecta los siguientes procesos: (1) síntesis de azúcares simples y del almidón; (2) translocación de los hidratos de carbono; (3) reducción de los nitratos y síntesis de proteínas, particularmente en los tejidos meristemáticos; y (4) división celular normal.

Salgado *et al.* (1992), hicieron un trabajo en la Chontalpa, Tabasco, con el objeto de evaluar el efecto de la fertilización NPK sobre la madurez y la calidad de la caña de azúcar. De acuerdo con los resultados obtenidos, estos investigadores registraron que la fertilización NPK, con la dosis 160-80-80, incrementó el rendimiento de caña en 6.92 t ha<sup>-1</sup>, al compararlo con el testigo 0-0-0.

Espinoza y Gómez (1984), en San José de Chila, municipio de Apatzingan, Michoacán, llevaron a cabo un estudio con el objeto de determinar la dosis óptima de fertilización NPK en sandía; los resultados obtenidos indican que la mejor dosis de fertilización para la región mencionada es la 80-60-40, con un rendimiento total de 29.5 t ha<sup>-1</sup>, con frutos de 30 cm de largo y 20 cm de ancho. Cruz y Ramírez (1984) estudiaron la palma africana en la costa de Chiapas con el objeto de consignar la ecuación de respuesta (N, P, K) de esta oleaginosa; se utilizó la variedad tenera de 6 años de edad distribuida a 9 x 9 m en tresbolillo. Los mayores rendimientos (23.88 t ha<sup>-1</sup>) se reportaron con la dosis 140-60-90-1430-86 kg ha<sup>-1</sup> de N-P-K-Ca-Mg.



Cruz *et al.* (1984), en el estado de Oaxaca, hicieron un trabajo cuyo objeto fue determinar la respuesta del limonero a los fertilizantes a fin de derivar recomendaciones. Los mejores resultados, promedio de dos años de estudio, se obtuvieron con la dosis 212-133-133 (N-P-K), con un rendimiento de 19.99 t ha<sup>-1</sup>, mientras que los limoneros tratados con el 0-0-0 produjeron un rendimiento promedio de 15.35 t ha. Cabe aclarar que los árboles tratados con potasio y nada de N y P (0-0-133) rindieron menos que todos los tratamientos (13.6 t ha<sup>-1</sup>).

En la Sierra de Chihuahua no existe ningún documento que muestre evidencias al respecto, por lo que se planteó como objetivo del presente trabajo conocer los efectos del potasio sobre el desarrollo y rendimiento del manzano, así como la dosis de mantenimiento que permita hacer un uso adecuado de este nutrimento.

## MATERIALES Y METODOS

De marzo de 1986 a diciembre de 1988 se desarrolló un trabajo de campo en una huerta de manzano, cultivar Golden Delicious sobre portainjerto franco de 22 años de edad, plantado en marco real a 7.0 m en un suelo con textura que fluctuó de arena franco a franco arcillo-limoso, ubicada en San José, Bachiniva, Chihuahua.

### Diseño Experimental.

El experimento se estableció en el campo bajo un diseño completamente al azar, con cuatro tratamientos: (a) 60-50-0, (b) 60-50-50, (c) 60-50-100, (d) 60-50-150 kg ha<sup>-1</sup> de N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> y K<sub>2</sub>O, respectivamente, y cuatro repeticiones (los cuatro árboles centrales de un bloque de 18 distribuidos seis en cada una de las tres hileras consideradas en un total de 882 m<sup>2</sup>). Como fuentes de N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, K<sub>2</sub>O se usó urea, superfosfato triple de calcio y cloruro de potasio, respectivamente.

La aplicación de los fertilizantes en el campo se hizo durante el mes de marzo de cada año, después de medir el área correspondiente a cada unidad experimental, distribuyendo los fertilizantes en forma manual fuera de la zona de goteo del árbol; posteriormente, con un paso de rastra se incorporó al suelo para que estuviese disponible para el árbol.

### Muestreo de Suelos.

Las muestras de suelo se tomaron durante julio de 1986 y abril de 1987 bajo los siguientes criterios: se hicieron tres pozos de 90 cm de profundidad por tratamiento en zig-zag, distribuidos dentro de la parcela experimental de cada tratamiento, se tomó una muestra compuesta de cada uno de ellos para las tres profundidades (0-30, 30-60 y 60-90 cm), se secaron al aire y temperatura ambiente, se tamizaron con malla de 2 mm y se enviaron al laboratorio de PRONAPA para su análisis. Se determinó:

Textura. Se utilizó el método del hidrómetro de Bouyoucos (1962), en la clasificación de tierras se utilizó la nomenclatura del triángulo de texturas empleado por el Departamento de Agricultura de los E.U.A. (Gavande 1979).

Nitrógeno. Para la evaluación de este elemento en el suelo, se hizo la determinación de nitratos mediante el método del ácido fenol-disulfónico (Bremner, 1965). En la clasificación de los resultados se utilizaron los valores por (Tavera y S.G., 1985).

Fósforo. El análisis de este nutrimento se hizo por el método de Olsen *et al.* (1954). Para la interpretación de los resultados se recurrió a los valores por (Tavera y S.G., 1985).

Potasio. A los suelos estudiados se les determinó el potasio soluble y el intercambiable (Jackson, 1970). En la interpretación de los resultados se tomó como base el trabajo de (Reitemeier, 1951).

### Muestras de Follaje.

Toma de muestras. El muestreo foliar se hizo durante julio de 1986 y 1987 bajo los criterios registrados por Amado (1986), se determinó:

Nitrógeno total. Este nutrimento se determinó por el método microkjeldahl (Bremner, 1965), los resultados se compararon con los valores propuestos por (Shear y Faust, 1980).

Fósforo. Se determinó por el método Olsen *et al.* (1954), mientras que en la interpretación de los resultados se usaron los datos de Shear y Faust (1980).



**Potasio.** En esta prueba se recurrió a la absorción atómica de acuerdo a lo establecido por Chapman y Pratt (1973); para la interpretación de los resultados se utilizó el trabajo de Shear y Faust (1980).

#### Variables Evaluadas.

**Incremento en la circunferencia del tronco.** En los 16 árboles seleccionados (cuatro de cada tratamiento) se midió el incremento en la circunferencia del tronco; se tomaron dos lecturas por ciclo, la primera en marzo y la segunda después de la cosecha. Para llevar a cabo esta práctica se pintó una franja en el tronco de los árboles, 20 cm arriba del nivel del suelo luego en las fechas correspondientes se midió con una cinta de sastre de 1.5 m de capacidad y aproximación a mm.

**Crecimiento vegetativo apical.** Para medir esta variable se etiquetaron ocho brotes del año en cada uno de los 16 árboles del presente estudio. Se empleó cinta métrica de 1 m de longitud y aproximación a mm.

**Volumen de la copa del árbol.** Con un estadal de 4 m y aproximación a cm, se tomaron tres lecturas, una de lo alto y dos de lo ancho del diámetro de la copa del árbol, luego se usó la fórmula para el cálculo del volumen de una esfera ( $V = 1/6 \pi D^3$ ) por considerar que la copa del árbol se asemeja a este cuerpo.

**Número, diámetro y peso de los frutos.** La cosecha se llevó a cabo durante el mes de septiembre en forma manual. Se contó y pesó la fruta al momento de la pizca, con una báscula de reloj de 10 kg de capacidad y aproximación a 25 g en cada una de las unidades experimentales. El diámetro de fruto se evaluó en una muestra representativa de ocho frutos por tratamiento, con un vernier de 12 cm de capacidad y aproximación a mm.

**Análisis Estadísticos.** Tanto los parámetros de crecimiento como los de rendimiento, obtenidos durante 1986, 1987 y 1988, se analizaron bajo un diseño completamente al azar con cuatro tratamientos y cuatro repeticiones; se hizo un análisis de varianza combinado (Martínez, 1988), considerando los tres años de estudio y los cuatro tratamientos establecidos, estos últimos se compararon al 5% de probabilidad, mediante la prueba de rango múltiple D.M.S. descrita por Little y Hills (1981).

## RESULTADOS Y DISCUSION

### Respuesta del Manzano a las Aplicaciones de Potasio.

#### Parámetros de Vigor.

**Circunferencia del tronco.** El incremento en la circunferencia del tronco en árboles de manzano es una de las variables que refleja el efecto del potasio, la respuesta en crecimiento de este parámetro mostró una asociación directa con las aplicaciones de potasio (Cuadro 1). Aunque el análisis estadístico no acusa diferencias entre los tratamientos establecidos, sobresale la dosis 60-50-50, con incremento de 1.53 cm (promedio de tres años de estudio), seguido por la dosis testigo 60-50-0 la cual produjo aumentos promedio de 1.51 cm. Se observa que el incremento en la circunferencia del tronco disminuye ligeramente conforme sube la dosis de potasio, los datos obtenidos son: 1.45 y 1.22 cm para 60-50-100 y 60-50-150, respectivamente. Respecto a la respuesta del potasio a través del tiempo, el segundo ciclo fue el más sobresaliente con un promedio de 3.0 cm entre los tratamientos, lo cual coincide con lo establecido por Cain y Shear (citados por Navarro, 1988). Dichos autores señalan que, en general para frutales caducifolios, el efecto de la fertilización potásica al suelo, se manifiesta a partir del segundo año de establecido el trabajo de campo y dura normalmente de 3 a 4 años, excepto en suelos muy ligeros. Tal es el caso de los suelos donde se evaluaron los manzanos en cuestión, debido principalmente al bajo contenido de potasio natural del suelo, además que por la baja CIC de éstos, el lavado ocasiona mayores pérdidas de este elemento.

Cuadro 1. Evaluación del incremento en la circunferencia del tronco en árboles de manzano cv. Golden Delicious. Bachíniva, Chih. 1986-1988.

Tratamientos	1986	1987	1988	$\bar{X}$
	----- cm -----			
60-50-0	0.88	3.0	0.65	1.51
60-50-50	0.55	3.8	0.25	1.53
60-50-100	0.78	3.0	0.58	1.45
60-50-150	1.03	2.3	0.33	1.22

F calculada = 0.3470 No significativo; F tablas (5% y 1%) = 286 y 438, respectivamente.  
C.V. 46.63%.



**Crecimiento vegetativo apical.** En el Cuadro 2 se presentan los valores del crecimiento vegetativo apical en árboles de manzano. El análisis estadístico muestra que no hubo diferencias significativas entre los tratamientos establecidos. Los valores más altos corresponden al tratamiento 60-50-50 con 12.85 cm, los cuales son bajos de acuerdo con Kotzé (1984), quien indica que para la variedad Golden Delicious un crecimiento vegetativo apical de 25 cm es adecuado. Sin duda, una de las limitantes más fuertes que influyó en este sentido fue la cantidad de agua suministrada (en promedio 58.9 cm) debido a la baja capacidad acuífera de la región, ya que se necesita un mínimo de 92 cm evapotranspirados para tener un crecimiento vegetativo apical adecuado (Amado, 1992). Los valores más bajos corresponden al tratamiento testigo 60-50-0 con 10.72 cm mientras que las dosis de 100 y 150 kg de K ha<sup>-1</sup> produjeron brotes de 12.52 y 11.62 cm (promedio de tres años de estudio). El crecimiento vegetativo apical, de manera similar al parámetro de vigor analizado anteriormente, sobresale por su respuesta el segundo año de estudio, con una media de 18.7 cm. Lo cual coincide con lo que señalan Olsen *et al.*, (citados por Navarro, 1988), en el sentido que el efecto de la fertilización potásica al suelo se muestra a partir del segundo año de iniciado el estudio.

En los dos parámetros de vigor analizados anteriormente se observa una mayor respuesta durante el segundo año del estudio; sin embargo, durante 1987 fue cuando precisamente se produjo la menor cantidad de fruta, es decir, que existe una relación antagónica entre la producción de parámetros de vigor con los de rendimiento.

Cuadro 2. Análisis del crecimiento vegetativo apical en manzano cv. Golden Delicious. Bachíniva, Chih. 1986-1988.

Tratamientos	1986	1987	1988	$\bar{X}$
----- cm -----				
60-50-0	8.33	13.97	9.85	10.72
60-50-50	9.95	20.13	8.47	12.85
60-50-100	6.60	21.81	9.16	12.52
60-50-150	8.40	18.88	7.57	11.62

F calculada = 0.40341 No significativo; F tablas (5%, 1% = 286 y 438, respectivamente). C.V. 35.57%.

**Volumen de la copa del árbol.** En cuanto a la respuesta en crecimiento de la parte aérea al suministro de potasio en manzano, se observaron diferencias estadísticas altamente significativas. Los tratamientos sobresalientes fueron el nivel de 50 kg ha<sup>-1</sup> de potasio y el testigo con (medias de tres años) 44.71 y 44.32 m<sup>3</sup>, respectivamente. Los cuales son estadísticamente iguales entre sí pero diferentes de los dos tratamientos restantes; 39.26 y 33.75 m<sup>3</sup> para las dosis de 100 y 150 kg de k ha<sup>-1</sup>, respectivamente (Cuadro 3). El análisis a través del tiempo indica que los árboles de manzano fueron creciendo cada año más, así durante 1986 la media fue de 34.52 m<sup>3</sup> mientras que para 1987 y 1988 se incrementó a 40.78 y 46.26 m<sup>3</sup>, respectivamente. Esta situación también se había reportado en 1963 por Forshey (citado por Navarro, 1988), quien se hizo un estudio sobre deficiencias de potasio y magnesio en árboles de manzano y encontró que al aplicar potasio a los árboles se producía un incremento en el crecimiento de la parte aérea.

#### Parámetros de Rendimiento.

**Número de frutos.** El potasio ha mostrado ser un nutrimento muy importante para mejorar la producción de cultivos, como lo menciona Humbert (1969). En relación con nuestro estudio, el análisis estadístico muestra que no hubo diferencias significativas entre los tratamientos establecidos. Por su valor sobresale la dosis 60-50-50 con 2181 frutos por árbol (promedio de los tres años de estudio), continúa, por su importancia, la dosis testigo (60-50-0) en la cual los árboles rindieron 2090 manzanas en promedio durante el

Cuadro 3. Volumen de copa de árboles de manzano cultivar Golden Delicious. Bachíniva, Chih. 1986-1988.

Tratamientos	1986	1987	1988	$\bar{X}$
----- m <sup>3</sup> -----				
60-50-0	37.49	47.8	47.66	44.32a
60-50-50	39.94	42.4	51.82	44.71a
60-50-100	33.92	37.3	46.57	39.26b
60-50-150	26.72	35.6	38.98	33.75c

F calculada = 12.338\*\* F tablas 5%, 1% = 2.86, 4.38 C.V. 34.96%

DMS 5% = 2.89

Medias que tienen la misma letra son estadísticamente iguales.



tiempo de estudio. Los datos obtenidos indican que los árboles tratados con 60-50-100 y 60-50-150 produjeron menores cantidades de fruto; 1672 y 1667 manzanas por árbol, respectivamente. La producción a través del tiempo disminuyó durante el segundo ciclo del cultivo puesto que en promedio se obtuvieron 2813, 554 y 2340 frutos por árbol para 1986, 1987 y 1988, respectivamente esto explica porqué los parámetros de crecimiento descritos anteriormente mostraron sus máximos valores durante el segundo ciclo del presente estudio (Cuadro 4).

Diámetro ecuatorial de las manzanas. Algunos de los efectos logrados al tener un buen suministro de potasio en las plantas son mayor tamaño, peso del fruto y mejoramiento en el color del mismo (Kwong, 1973). Aunque no hubo diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos evaluados sobresalen por su tamaño los frutos producidos en los árboles tratados con la dosis 60-50-50. El promedio en los tres años de estudio fue de 6.36 cm de diámetro ecuatorial en dichas manzanas, seguido, en orden de importancia, por los frutos producidos por los manzanos sometidos a 60-50-150, 60-50-100 y 60-50-0 con valores de

Cuadro 4. Número de frutos en árboles de manzano cultivar Golden Delicious. Bachíniva, Chih. 1986-1988.

Tratamientos	1986	1987	1988	$\bar{X}$
60-50-0	3773	387	2110	2090
60-50-50	3519	262	2763	2181
60-50-100	2100	621	2295	1672
60-50-150	1860	946	2194	1667

F calculada = 0.48537 No significativo; F tablas (5%, 1% = 2.86, 4.38).  
C.V. 47.53%.

Cuadro 5. Diámetro ecuatorial de manzanas cultivar Golden Delicious. Bachíniva, Chih. 1986-1988.

Tratamientos	1986	1987	1988	$\bar{X}$
----- cm -----				
60-50-0	5.93	6.53	6.21	6.22
60-50-50	6.13	6.78	6.17	6.36
60-50-100	6.15	6.51	6.12	6.26
60-50-150	6.58	6.36	6.11	6.35

F calculada = 0.2807711 No significativo; F tablas (5%, 1% = 2.86, 4.38).  
C.V. 4.90%.

6.35, 6.26 y 6.22 cm, respectivamente (Cuadro 5). Con respecto a este parámetro evaluado a través del tiempo, durante 1987 se obtuvieron las manzanas más grandes (6.55 cm de diámetro ecuatorial); sin embargo, es oportuno recordar que durante ese ciclo sólo se produjeron en promedio 554 manzanas, las cuales son pocas en relación a los años normales en los que se producen hasta 2000 frutas por árbol o más. En este parámetro influye también la cantidad de agua evapotranspirada puesto que se necesitan 90 cm evapotranspirados como mínimo para producir frutos de buen tamaño (7.0 cm) (Amado, 1992) y en esta ocasión sólo se evapotranspiró en promedio 58.9 cm.

Kilogramos de manzana por árbol. Existen informes en los cuales se menciona que la mayor respuesta a la fertilización con K se logra en el intervalo considerado de deficiencias o en la porción inferior del intervalo de suficiencias (Mengel y Kirby, citados por Navarro, 1988). Esta situación coincide con los datos obtenidos en este estudio. Primero, el análisis estadístico combinado indica que hubo diferencias estadísticas altamente significativas entre los tratamientos evaluados, sobresaliendo la dosis 60-50-50 con 174.13 kg árbol<sup>-1</sup> (promedio de los tres años de estudio), valor que el mayor estadísticamente de los tratamientos de K e igual al testigo (Cuadro 6). Segundo, la concentración de potasio en las hojas para esta dosis fue de las más bajas, sobre todo en 1987 (1.8% de K) aunque todos los valores se encuentran en el rango de suficiencia. Estadísticamente el tratamiento señalado resultó ser igual a la dosis testigo (60-50-0) la cual rindió en promedio 166.03 kg/árbol y la concentración de K en el follaje fue en promedio de 1.3%. La dosis testigo resultó estadísticamente igual a los tratamientos 60-50-100 y 60-50-150, cuyos rendimientos promedio de tres años fueron de 155.21 y 154.64 kg árbol<sup>-1</sup> y concentraciones promedio de potasio en las hojas de 1.6 y 1.7% de K, respectivamente. A través del tiempo se pudo observar que hubo alternancia puesto que el rendimiento en promedio fue de 212.6, 64.0 y 210.9 kg/árbol para 1986, 1987 y 1988, respectivamente. Se observó una relación inversa entre los parámetros de crecimiento y los de producción.

Con base en los resultados del análisis de suelos se puede decir que la textura del suelo fue diferente entre los tratamientos



Cuadro 6. Rendimiento de manzana por árbol, cultivar Golden Delicious. Bachíniva, Chih. 1986-1988.

Tratamientos	1986	1987	1988	$\bar{X}$
	----- kg -----			
60-50-0	257.0	45.56	195.51	166.03ab
60-50-50	250.4	31.80	240.20	174.13a
60-50-100	179.9	70.44	215.33	155.21 b
60-50-150	163.1	108.21	192.59	154.64 b

F calculada = 5.7598\*\* F tablas (5%, 1% = 2.86, 4.38).

C.V. 45.78%

DMS 5% = 15.18.

estudiados, lo cual favoreció a las dosis más bajas (0 y 50 kg de K/ha) ya que la cantidad de arena fue mayor en donde se establecieron las dosis más altas de potasio (100 y 150 kg de K ha<sup>-1</sup>). Con relación al nitrógeno, se obtuvieron valores que fluctuaron entre 0.0 y 18.0 ppm de nitratos, sin mostrar ninguna tendencia clara entre los tratamientos estudiados.

Con respecto al fósforo, la concentración más alta en el suelo se registró en la dosis 60-50-50, variaron los valores desde 9.2 hasta 48.1 ppm de P, clasificados desde bajos hasta ricos, respectivamente.

Se observó mayor cantidad de potasio soluble durante el primer año de estudio, sobre todo en la dosis de 50 kg de K ha<sup>-1</sup>, aunque la cantidad de agua suministrada durante el ciclo fue la más baja (54.16 cm: 42.16 cm de lluvia más 12 cm de un riego de auxilio). Los valores que se registraron son los siguientes: 0.42, 0.27 y 0.09 me/L en las profundidades de 30, 60 y 90 cm, respectivamente.

Resulta importante aclarar que la mayor cantidad de raíces absorbentes se localiza en el estrato de 0-60 cm de profundidad, donde se cuantificó precisamente la mayor cantidad de potasio soluble.

En el siguiente año (1987), esta situación se presentó a la inversa, el tratamiento en cuestión 50 kg K ha<sup>-1</sup> fue el más bajo en potasio soluble, inclusive que el testigo. En relación con el potasio intercambiable, los datos obtenidos mostraron un comportamiento completamente diferente que los del potasio soluble. En general hubo mayor cantidad de

potasio intercambiable durante 1987 (segundo ciclo del estudio); analizando por tratamiento, las cantidades más altas se presentaron en el testigo (60-50-0): 17.0, 17.0 y 20.0 me/100 g, para las profundidades de 30, 60 y 9 cm, respectivamente; esta situación fue similar que en el primer año de estudio, en el que sobresalió el testigo con 12.2, 7.4 y 9.9 me/100g en las profundidades señaladas.

## CONCLUSIONES

- Los mejores efectos del potasio sobre el desarrollo y rendimiento del manzano se produjeron con 50 kg de K/ha.
- Al evaluar los parámetros de vigor aunque no hubo diferencias significativas sobresale la dosis 60-50-50, con un incremento en la circunferencia del tronco de 1.53 cm promedio de los tres años de estudio; mientras que el crecimiento vegetativo apical fue de 12.85 cm.
- El análisis de los parámetros de rendimiento indica que la mejor respuesta se obtuvo con el tratamiento 60-50-50, en el cual los árboles rindieron 2181 frutos de 6.32 cm de diámetro ecuatorial, equivalentes a 174.1 kg/árbol, promedio de los tres años de estudio.
- La concentración de potasio en las hojas de manzano para la dosis sobresaliente (60-50-50) fue de 1.5 y 1.8% durante el primero y segundo año de estudio respectivamente, valores que se clasifican dentro del rango de suficiencias.

## LITERATURA CITADA

- AMADO A., J.P. 1986. Diagnóstico nutrimental en manzano por medio del análisis foliar. Folleto Misceláneo No. 1 CAESICH-CIAN-INIFAP-SARH. Cd. Cuauhtémoc, Chih.
- AMADO A., J.P. 1989. Levantamiento nutrimental del manzano (*Malus doméstica*) en la Sierra de Chihuahua. Terra 7: 116-124.
- AMADO A., J.P. 1992. Respuesta del manzano (*Malus pumilla* Mill) a diferentes niveles de humedad en el suelo. Terra 10: 174-183.
- BOUYOUCOS, G.J. 1962. Hydrometer method improved for making particle size analysis of soil. Agron. J. 54: 464-465.
- BREMNER, J.M. 1965. Total nitrogen. pp. 1149-1178 In: C.A. Black (Ed.). Methods of soil analysis. Part 2. Amer. Soc. of Agron. Madison, Wisconsin.



- CRUZ M., R., M. CONTRERAS N. y V. SERRANO A. 1984. Respuesta a la fertilización (N,P,K) de plantaciones de limón mexicano en producción en la costa de Oaxaca. *Terra* 2: 74-79.
- CRUZ M., R. y R. RAMIREZ Z. 1984. Determinación de la ecuación de respuesta (N,P,K) de la palma africana en la costa de Chiapas. *Terra* 2: 171-175.
- CHAPMAN, D.H. y P.F. PRATT. 1973. Métodos de análisis para suelos, plantas y aguas. Trad. al español de Agustín Contin. Editorial Trillas, S.A. México, D.F.
- ESPINOZA V., E. y A. GOMEZ T. 1984. Dosis óptima de fertilización en sandía (*Citrus lantus*) en San José de Chila, Mpio. de Apatzingan, Michoacán. *Terra* 2: 165-170.
- GAVANDE, S.A. 1979. Física de suelos, principios y aplicaciones. Ed. Limusa, S.A. México, D.F.
- HUMBERT, R.P. 1969. Potassium in relation to food production. Proceedings of the symposium "Potassium in horticulture". *Hort Science* 4: 35-36.
- JACKSON, M.L. 1970. Análisis químico de suelos. Trad. al español del José Beltrán Martínez 2a. ed. Ediciones Omega, S.A. Barcelona, España.
- KOTZE, G.A. 1984. Irrigation scheduling for deciduous fruit with the aid of class a pan evaporation and controlled by means of tensiometers. Fruit and fruit technology research Institute stellenbasch SAH-TEVRUGTEBOER.
- KWONG, S.S. 1973. Nitrogen and potassium fertilization effects on yield, fruit quality and leaf composition of (stanley) prunes. *J. Amer. Soc. Hort Sci.* 98: 72-74.
- LITTLE, T.M. y F.J. HILLS. 1981. Métodos estadísticos para la investigación en la agricultura. Trad. al español por Anatolio de Paula Crespo. Editorial Trillas, México, D.F.
- LAWTON, K. y R.L. COOK. 1954. El potasio en la nutrición de la planta. *Advances in Agronomy*. Vol. VI. Nr. 4.02.46. Printed in Germany.
- MARTINEZ G., A. 1988. Diseños experimentales, métodos y elementos de teoría. Editorial Trillas, México, D.F.
- NAVARRO A., J.A.C. 1988. Efecto de las inyecciones de potasio al tronco en la nutrición y desarrollo de árboles de aguacate (*Persea americana* Mill) Cv. Fuerte. Colegio de Postgraduados, Montecillo, Edo. de México. (Tesis de Maestría).
- OLSEN, S., R.V. COLE, F.S. WATANABE y C.A. DEAN. 1954. Estimation of available phosphorus in soil by extraction with sodium bicarbonate. *U.S. Dept. Agr. Circ.* 939-943.
- REITEMEIER, R.F. 1951. El potasio del suelo. *Advances in Agronomy*. Vol. III Nr. 4.02.46 Printed in Germany.
- SALGADO G., S., R. NUÑEZ E. y L. BUCIO A. 1992. La fertilización NPK sobre la madurez y la calidad de la caña de azúcar en la Chontalpa, Tabasco. pp. 134. In: Tovar S., J.L. y R. Quintero L. (eds.) 1992. La investigación edafológica en México 1991-1992. Memorias del XXV Congreso Nacional de la Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo. Acapulco, Guerrero, México.
- SHEAR, B.C. y M. FAUST. 1980. Nutritional ranges in deciduous tree fruit and nuts. *Horticultural Reviews* 2: 142-163.
- TAVERA y S.G., G. 1985. Criterios para interpretación y aprovechamiento de los reportes de laboratorio para las áreas de asistencia técnica. Publicación No. 3 de la Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo. Delegación Laguna.



**DIVISION II**

Efecto de la germinación de diferentes leguminosas en la sobrevivencia de *Rhizobium*.  
**MA. DE LAS NIEVES RODRIGUEZ M. y RONALD FERRERA-CERRATO** 329

Interacción de la micorriza V-A y la fertilización fosfatada en diferentes portainjertos de cítricos.  
**MA. DEL CARMEN GONZALEZ CHAVEZ y RONALD FERRERA-CERRATO** 338

Eficiencia y pérdidas via desnitrificación de fertilizantes nitrogenados aplicados a sorgo cultivado en un Vertisol.  
**GUILLERMO VAZQUEZ NAVARRO, JUAN MANUEL DE LA FUENTE MARTINEZ y JUAN JOSE PEÑA CABRIALES** 345

**DIVISION III**

**A**lgunos aspectos del factor humano sobre la erosión del suelo. Estudio de caso en Coatlinchán, México.  
**ANTONIO BECERRA M., JORGEL. TOVAR SALINAS S., MARCELA ORTIZ S. y ENRIQUE OJEDA T.** 354

Efecto de la fertilización potásica al suelo sobre la producción del manzano (*Malus pumila* Mill).  
**JESUS PILAR AMADO ALVAREZ** 362