



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

TERRA

Volumen 12

Octubre-Diciembre de 1994

Número 4

DIVISION I

INDICE

- M**anejo eficiente de los vertisoles: su diagnóstico y sus indicadores.
KLAUDIA OLESCHKO 373
 Niveles de fluoruro soluble en agua en especies vegetales que crecen en las cercanías de una planta productora de ácido Fluorhídrico.
**JORGE D. ETCHEVERS B.,
 ARTURO GALVIS S.,
 TOMAS HERNANDEZ y
 L. DE LA ISLA BAUER** 383
 Efecto de las quemas prescritas sobre algunas características del suelo en un rodal de pino.
**JOSE GERMAN FLORES GARNICA y
 JUAN DE DIOS BENAVIDES SOLORIO** 393
 Contaminación por metales pesados en aguas residuales de Pachuca, Tizayuca y ciudad Sahagún en Hidalgo, México.
**TEODORO MENDEZ GARCIA,
 LETICIA GUEVARA DELOYA y
 RAFAEL HUIZAR ALVAREZ** 401

DIVISION II

- P**roducción y distribución de materia seca en plantas de trigo por efecto de diferentes relaciones amonio/nitrato.
**MANUEL SANDOVAL V.,
 G. ALCANTAR G. y
 J.L. TIRADO T.** 408
 Efecto de la aplicación de detergentes aniónicos en el rendimiento de alfalfa, cebada y lechuga.
**TEODORO MENDEZ GARCIA,
 VICTOR VILLAMAR HERNANDEZ y
 ARELIA GONZALEZ VELAZQUEZ** 414
 Eficiencia de la evapotranspiración en algodónero cv. Laguna 89 bajo diferentes niveles de humedad en el suelo.
CLAUDIO GODOY AVILA 423
 Respuesta del arroz al régimen hídrico en el valle de Apatzingán.
**LUIS MARIO TAPIA VARGAS y
 ARCADIO MUÑOZ VILLALOBOS** 431
 Cálculo del coeficiente de ajuste por restricción de humedad y déficit hídrico como función de la tensión de humedad y de la textura del suelo.
**FRANCISCO MOJARRO DAVILA,
 MARCO A. INZUNZA I. y
 LEOPOLDO MORENO DIAZ** 437

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

EDITORES ASOCIADOS INTERNACIONALES

DR. EDUARDO BESAIN 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.

Volumen 12-4, octubre-diciembre 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

Manejo eficiente de los vertisoles: su diagnóstico
y sus indicadores. KLAUDIA OLESCHKO. 373

Niveles de fluoruro soluble en agua en especies
vegetales que crecen en las cercanías de una planta
productora de ácido Fluorhídrico. JORGE D.
ETCHEVERS B., ARTURO GALVIS S.,
TOMASHERNANDEZ y L. DE LA ISLA BAUER. 383

Efecto de las quemadas prescritas sobre algunas
características del suelo en un rodal de pino. JOSE
GERMAN FLORES GARNICA y JUAN DE
DIOS BENAVIDES SOLORIO. 393

Contaminación por metales pesados en aguas
residuales de Pachuca, Tizayuca y ciudad Sahagún en
Hidago, México. TEODORO MENDEZ GARCIA,
LETICIA GUEVARA DELOYA y RAFAEL
HUIZAR ALVAREZ. 401

División II: Relación-Suelo-Clima-Biota

Producción y distribución de materia seca en
plantas de trigo por efecto de diferentes relaciones
amonio/nitrato. MANUEL SANDOVAL V.,
G. ALCANTAR G. y J.L. TIRADO T. 408

Efecto de la aplicación de detergentes aniónicos en
el rendimiento de alfalfa, cebada y lechuga. TEODORO
MENDEZ GARCIA, VICTOR VILLAMAR
HERNANDEZ y ARELIA GONZALEZ VELAZQUEZ 414

Eficiencia de la evapotranspiración en algodónero
cv. Laguna 89 bajo diferentes niveles de humedad en el
suelo. CLAUDIO GODOY AVILA. 423

Respuesta del arroz al régimen hídrico en el valle
de Apatzingán. LUIS MARIO TAPIA VARGAS
y ARCADIO MUÑOZ VILLALOBOS. 431

Cálculo del coeficiente de ajuste por restric-
ción de humedad y déficit hídrico en función
de la tensión de humedad y de la textura del
suelo. FRANCISCO MOJARRO DAVILA,
MARCO A. INZUNZA I. y LEOPOLDO
MORENO DIAZ. 437

Efecto de la inoculación de *Azospirillum* sp. en
Phaseolus vulgaris L. inoculado con *Rhizobium* spp. MA.
DE J. ALVARADO B., L.I. AGUILERA G.,
J. FRIAS H. y V. OLALDE PORTUGAL. 445

ERRATA

En el Volumen 10, Número Especial, 1992, en el
trabajo: RASGOS MICROMORFOLOGICOS DE LOS
TEPETATES DE HUEYPOXTLA (ESTADO DE
MEXICO), por error se omitió al coautor Jorge F.
Cervantes Borja.

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 NUÑEZ ESCOBAR, Mexico
DR. JOSE LUIS OROPEZA MOTA, Mexico
M.C. CARLOS ORTIZ SOLORIO, Mexico
DR. ALEJANDRO VELAZQUEZ MARTINEZ, Mexico
DR. ENRIQUE PALACIOS VELEZ, Mexico
DR. OSCAR L. PALACIOS VELEZ, Mexico
DR. BENJAMIN V. PEÑA OLVERA, Mexico
DR. ANTONIO TURRENT FERNANDEZ, Mexico

INTERNATIONAL ASSOCIATE EDITORS

DR. EDUARDO BESOAIN M., Chile
DR. WINFRIED E.H. BLUM, Austria
DR. ELMER BORNEMISZA, Costa Rica
DR. LUIS ALFREDO DE LEON, Colombia
DR. HARI ESWARAN, USA
DR. ANTHONY FISCHER, Australia
DR. JUAN F. GALLARDO LANCHO, Spain
DR. RENATO GREZ Z., Chile
DR. ALBERTO HERNANDEZ, Cuba
DR. JOSE M. HERNANDEZ MORENO, Spain
DR. ERIC S. JENSEN, Denmark
DR. WALTER LUZIO LEIGHTON, Chile
DR. JOHN T. MORAGHAN, USA
DR. HECTOR J. M. MORRAS, Argentina
DR. CHRISTIAN PRAT, France
DR. PARKER F. PRATT, USA
DR. PAUL QUANTIN, France
DR. JOSE RODRIGUEZ, Chile
DR. CARLOS ROQUERO, Spain
DR. KARL 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 12-4, October-December 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

| | |
|---|-----|
| <i>Division I: Diagnosis Methodology and Evaluation of the Soil Resource</i> | |
| Efficient Vertisol management: Diagnosis and indicators. KLAUDIA OLESCHKO. | 373 |
| Water-soluble fluoride levels in plant species grown near a hydrofluoric acid production plant. JORGE D. ETCHEVERS B., ARTURO GALVIS S., TOMASHERNANDEZ, and L. DE LA ISLA BAUER. | 383 |
| Effect of controlled burns of a pine tree stand on some soil characteristics. JOSE GERMAN FLORES GARNICA y JUAN DE DIOS BENAVIDES SOLORIO. | 393 |
| Heavy metal pollution in waste water of Pachuca, Tizayuca and ciudad Sahagun in Hidalgo, Mexico. TEODOROMENDEZ GARCIA, LETICIA GUEVARA DELOYA y RAFAEL HUIZAR ALVAREZ. | 401 |
| <i>Division II: Soil-Climata-Biota Relationship</i> | |
| Ammonium/nitrate ratios effect on dry matter yield and distribution in wheat. MANUEL SANDOVAL V., G. ALCANTAR G., and J.L. TIRADO T. | 408 |
| Effect of anionic detergents application on yield of alfalfa, barley, and lettuce. TEODORO MENDEZ GARCIA, VICTOR VILLAMAR HERNANDEZ, and ARELIA GONZALEZ VELAZQUEZ. | 414 |
| Evapotranspiration efficiency in cotton cv. Laguna 89 under different soil moisture levels. CLAUDIO GODOY AVILA. | 423 |
| Rice response to water management in the valley of Apatzingan. LUIS MARIO TAPIA VARGAS, and ARCADIO MUÑOZ VILLALOBOS. | 431 |
| Coefficient of limiting soil water predicted using water stress and soil texture. FRANCISCO MOJARRO DAVILA, MARCO A. INZUNZA I., and LEOPOLDO MORENO DIAZ. | 437 |
| Effect of the inoculation of <i>Azospirillum</i> sp. in <i>Phaseolus vulgaris</i> L. nodulated with <i>Rhizobium</i> spp. MA. DE J. ALVARADO B., L.I. AGUILERA G., J. FRIAS H., and V. OLALDE PORTUGAL. | 445 |

EDITORIAL

En este año de 1994 TERRA ha avanzado en consolidar su presencia en el ámbito de las revistas científicas prestigiadas de México y América Latina. Su aceptación, aunque condicionada, por el Comité Evaluador de Revistas Científicas Mexicanas de CONACYT es una confirmación de lo anterior. Esperamos que la revisión a que será sometida este fin de año la ubique definitivamente en el grupo de las revistas mexicanas de excelencia, ya que todas las sugerencias de dicho Comité fueron acogidas. Entre ellas destacan: 1) la ampliación de nuestro Comité Editorial y la creación de un grupo de Editores Asociados Nacionales y otro Internacional, a los que se incorporaron distinguidos científicos mexicanos y de otros países amigos de TERRA; 2) las gestiones para que TERRA sea incluida en los índices que se ocupan de la Ciencia del Suelo; y, 3) la mejoría de su sistema de distribución. Colecciones completas de la revista se encuentran hoy en más de 250 bibliotecas especializadas en nuestro país y el extranjero.

Aparte de las condicionantes anteriores, satisfechas en gran medida hasta este momento, TERRA se propuso sacar cuatro números por

volumen, a partir de este año, e hizo de la oportunidad de aparición una obligatoriedad. Todos nuestros números han sido publicados al final del trimestre correspondiente y en el momento que escribo estas líneas, fines de diciembre de 1994, el cuarto número (octubre a diciembre) está siendo entregado a la imprenta. El equipo editorial responsable de la revista se siente orgulloso de haber cumplido con éstas y las anteriores metas.

Entre los planes para 1995 tenemos: la mejoría de la calidad del papel en que se imprime TERRA y la constitución de un Comité Evaluador Externo, al que se le solicitará que haga sugerencias para alcanzar en el corto plazo un nivel de mayor excelencia.

Aprovecho este editorial para enviar un sincero agradecimiento a nuestros editores, editores asociados y revisores, quienes abnegadamente y sin recompensa material, realizan el trabajo más arduo, así como a todo el personal que anónimamente hace posible esta publicación. A todos ellos y a nuestros fieles lectores y contribuyentes un Próspero 1995.

El Editor.

MANEJO EFICIENTE DE LOS VERTISOLES: SU DIAGNOSTICO Y SUS INDICADORES

Efficient Vertisol Management: Diagnosis and Indicators

Klaudia Oleschko

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

Palabras clave: Vertisoles, Manejo de suelos, Sustentabilidad.

Index words: Vertisols, Soil management, Sustainability.

RESUMEN

Las propiedades físicas de los Vertisoles determinan la sustentabilidad del manejo de los mismos. Estas son, a la vez, afectadas y controladas por las prácticas agrícolas. El análisis de la dinámica de la consistencia, la capacidad del auto-mezclado, la dinámica del espacio micro y macroporoso, y su papel en la aireación de los Vertisoles de las zonas tropicales húmedas, el drenaje externo y interno, etc., permite evaluar la eficiencia de las prácticas agrícolas y varios sistemas de manejo.

Los puntos definatorios de un manejo eficiente de los Vertisoles son: 1) Selección rigurosa de los implementos a utilizar, con base en el conocimiento de las propiedades estructurales de la capa arable; 2) Estudio del comportamiento específico de cada Vertisol de interés y de su interacción con los factores del medioambiente; 3) Inclusión de

las prácticas de mejoramiento del suelo dentro de los paquetes tecnológicos.

La creatividad en la programación de las prácticas agrícolas es determinante para la sustentabilidad de los Vertisoles. El manejo de los Vertisoles es el manejo de las grietas.

SUMMARY

The soil physical properties (SPP) of Vertisols determine the sustainability of the management of these soils and conversely, they are affected and controlled by agricultural practices (AP). The effect and the efficiency of AP on the soil are evaluated observing the dynamic of some SPP such as consistence, auto-mulching, micro-and macroporosity and soil aeration. In addition, in the humid tropics, external and internal drainage and other SPP are also considered.

To achieve a more efficient management of Vertisols, the following points must be considered: 1) selection of appropriate tools for soil preparation; 2) study of soil-environment interactions; and 3) inclusion of soil improvement practices in the soil management technology generated for each soil.

Recibido 1-94.

INTRODUCCION

Entre los suelos agrícolas arcillosos, los Vertisoles ocupan un primer plano por su potencial productivo (alta fertilidad natural topografía favorable). Sin embargo, también presentan serios problemas de manejo, los cuales inician desde la preparación de la cama de siembra, continúan durante las operaciones de control de malezas y de fertilización, y se presentan durante la cosecha. Los problemas de manejo de los Vertisoles se dividen en energéticos y agronómicos, y son una de las causas de la subutilización de estos suelos en amplias áreas, tanto en el país como en el resto de América Latina. Los problemas de manejo tienen su origen en la dinámica continua de las propiedades físicas de los Vertisoles, la cual dificulta, por un lado, el crecimiento del cultivo (afectando su sistema radical) y, por otro, hace problemático el uso eficiente de estos suelos por los gastos excesivos de energía durante su manejo. La veracidad de los valores de todos los parámetros que se utilizan durante los diseños de sistemas de drenaje, de riego, de normas de fertilización, etc., prácticas comunes para los Vertisoles, es cuestionada por su dinámica continua, la que provoca, por ejemplo, el cambio de los valores de la Dap casi en 100% en el intervalo de humedad entre la saturación y la higroscopicidad máxima.

El uso de paquetes tecnológicos tradicionales o el diseño de paquetes únicos para los Vertisoles de diferentes áreas climáticas resulta, frecuentemente, en el fracaso total o parcial de las prácticas agrícolas.

Dentro del marco de la agricultura sostenible es indispensable desarrollar nuevos paquetes tecnológicos, específicos para los Vertisoles, basados en un conocimiento profundo del funcionamiento de estos suelos como sistemas dinámicos en el tiempo, variables en el espacio y con propiedades particulares.

Los suelos "arcillosos oscuros" (Dark Clay Soils), Vertisoles dentro de la clasificación FAO, ocupan alrededor de 320 millones de ha en diversas áreas climáticas. De la superficie mencionada, 60% se encuentra en el trópico, 30% en el subtropico y 10% en zonas templadas. Los Vertisoles se presentan en 76 países; de éstos últimos los que tienen mayores superficies con estos suelos son: Australia (70 millones de ha), India (60 millones de ha)

y Sudán (40 millones de ha). Otros países donde los Vertisoles ocupan superficies importantes son: Chad (16 millones de ha), Etiopía (13 millones de ha), China (12 millones de ha) y E.U.A. (18 millones de ha). De los 76 países con Vertisoles, los restantes tienen mucho menor superficie con estos suelos. En México, según datos de Cuanalo et al. (1989), los Vertisoles ocupan alrededor de 9.5 millones de ha y se presentan dentro de las provincias terrestres de la Planicie Costera Nororiental (3 millones de ha), en la Sierra Madre del Sur (1.8 millones de ha) y en la Plataforma Yucateca (1.3 millones de ha). La importancia que representan los Vertisoles para la agricultura dentro de las áreas señaladas en México, puede deducirse de los siguientes datos: en las tres regiones señaladas, los Vertisoles ocupan 35, 15.7 y 12% de la superficie agrícola, respectivamente. No se cuenta con datos confiables sobre la superficie de los Vertisoles relacionados con la agricultura en México. Sin embargo, puede afirmarse que, por lo menos en la Plataforma Yucateca, la mayor parte de la superficie de estos suelos se subutiliza desde el punto de vista agrícola.

Es claro que con el incremento de la población a nivel nacional surge la necesidad de ampliar continuamente las áreas agrícolas productivas. Sin embargo, los cambios globales de las condiciones climáticas y la dinámica de la cubierta edáfica a nivel terrestre, confirman la necesidad de aumentar la superficie agrícola dentro del marco de la agricultura sostenible.

Actualmente, no sólo en México sino también a nivel mundial, continuamente se está ampliando la superficie de los Vertisoles involucrados en la agricultura. En algunos casos esta extensión no cumple con los principios de la sustentabilidad de los sistemas desde el punto de vista de su manejo. En este contexto surge la pregunta: ¿Qué tanto se sabe sobre el comportamiento de los Vertisoles en distintos sistemas de manejo, en diferentes condiciones climáticas y con diferentes cultivos? La respuesta es muy desfavorable para los agrónomos.

Se tratará de analizar, en términos muy generales, por qué es necesario diseñar paquetes tecnológicos específicos para los Vertisoles, enfocando el análisis, al mismo tiempo, a las razones que determinan la degradación de estos suelos con prácticas de

manejo tradicionales, frecuentemente diseñadas para suelos de distinta génesis. Se hará énfasis en las prácticas de laboreo y en las variedades de cultivos utilizadas en la agricultura.

En la primera fase del análisis se separa un conjunto de propiedades de los Vertisoles que puede servir como base del diseño de su manejo óptimo y como un indicador de su eficiencia. Por falta del espacio no se hace referencia a los rasgos específicos del manejo de los Vertisoles en diferentes zonas climáticas.

El análisis de las propiedades de los Vertisoles requiere de su división en dos grupos. El primer grupo consiste de las propiedades que favorecen el uso agrícola del Vertisol. El segundo grupo abarca las propiedades que dificultan el manejo disminuyen su eficiencia. Si se compara a los Vertisoles del trópico con los de la zona templada, las propiedades incluidas en ambos grupos serán distintas.

Durante la segunda fase del análisis se revisa brevemente la experiencia que existe a nivel internacional y en México sobre la problemática de selección de cultivos en los Vertisoles de las zonas tropicales y de las templadas.

Antes de entrar al análisis señalado, se mencionarán algunos de los rasgos comunes de los Vertisoles, relacionados con su origen. En primer lugar, hay que acentuar que todas las propiedades específicas de los Vertisoles tienen la misma raíz: la mineralogía de la fracción arcillosa. Dudal y Eswaran (1988) consideran que el tipo y contenido de arcilla son críticos y determinantes del comportamiento físico y químico del Vertisol. En su mayoría, estas arcillas son de alto potencial de expansión y contracción, del tipo 2:1, con una clara predominancia de las arcillas montmorilloníticas.

En términos generales, puede decirse que el patrón de la dinámica de las propiedades de un Vertisol, independientemente de si está dedicado a la agricultura o se encuentra en condiciones nativas, está en función de: la variación cíclica de la humedad del suelo, que define el proceso de expansión o contracción del material arcilloso, y del origen de los cationes de intercambio, del pH y de otros factores, mismos que determinan el grosor de

la doble capa eléctrica alrededor de las partículas arcillosas.

PRINCIPIOS FUNDAMENTALES PARA EL DISEÑO DE PAQUETES TECNOLOGICOS PARA EL MANEJO SUSTENTABLE DE LOS VERTISOLES

Son dos los principios fundamentales que tienen que formar la base sólida para el diseño de sistemas de manejo que cumplan con los requisitos de la sustentabilidad: la eficiencia energética y la eficiencia agronómica de los sistemas del manejo.

La eficiencia energética de un sistema del laboreo se define comparando la cantidad de energía externa que se gasta durante el manejo del suelo y el cambio resultante de la energía interna del sistema estructural del mismo.

La eficiencia agronómica de un sistema del manejo esta en función de la producción óptima potencial de un cultivo determinado en condiciones edafo-climáticas favorables.

1. Eficiencia energética de las prácticas agrícolas en los Vertisoles.

La eficiencia energética de las prácticas agrícolas en los Vertisoles está en función de la consistencia del suelo en el momento de realización de la práctica. La consistencia de los Vertisoles es muy dura cuando el suelo está seco y muy pegajosa cuando está húmedo. La consistencia es la principal propiedad físico-mecánica del suelo en discusión, la que define el momento en el cual el terreno puede trabajarse sin pérdidas considerables de energía, es decir, cuando el suelo se encuentra en condiciones de humedad al punto. En el trópico, este período, llamado de trabajabilidad óptima, es muy corto y, a menudo insuficiente para terminar a tiempo con las prácticas diseñadas. Por esta razón, en el trópico húmedo de diferentes partes del mundo algunas prácticas agrícolas mecanizadas son reemplazadas por prácticas manuales.

Para diseñar prácticas energéticamente eficientes se tienen que determinar los principales factores que definen la consistencia de los Vertisoles. Estos factores se dividen en dos grupos: factores externos e internos. Únicamente se analizarán estos últimos, dentro de los cuales, por su importancia, destacan dos: el contenido de materia orgánica y el porcentaje de sodio

intercambiable (PSI). Tiene que quedar muy claro que ambos factores son controlables por medio de prácticas agrícolas de mejoramiento del suelo y afectan de un modo drástico y opuesto la consistencia de los Vertisoles. Así, por ejemplo, si el incremento en el contenido de materia orgánica favorece la optimización de la dinámica de la consistencia del suelo con la humedad, el aumento en la concentración de sodio restringe todavía más el período de su trabajabilidad adecuada. El efecto negativo del sodio es controlable por medio del incremento de la concentración de electrolitos en la solución del suelo (Wilding y Tessier, 1988).

Todas las prácticas de control o de mejoramiento químico de la consistencia del suelo son de gran importancia en los Vertisoles. Compuestos químicos conocidos por su papel cementante, tales como la materia orgánica, los carbonatos, los sesquióxidos y la sílica, reducen el grado de expansión de los suelos arcillosos y mejoran considerablemente su consistencia.

La experiencia mundial sobre las prácticas de control químico de la consistencia de los Vertisoles es muy pobre, por lo que se requiere explorar esta posibilidad en el futuro.

En lo que se refiere al incremento del contenido de materia orgánica en los Vertisoles, por medio de prácticas agrícolas que utilizan el rastrojo o los abonos orgánicos, la experiencia recopilada a nivel internacional es bastante amplia y sus resultados son interesantes. Así, por ejemplo, en el trópico, las prácticas arriba mencionadas no parecen ser muy eficientes, ya que en condiciones de una anaerobiosis frecuente, típica de los suelos de esta zona climática, la mineralización de la materia orgánica, además de ser muy lenta, no favorece la concentración de las fracciones orgánicas activas desde el punto de vista de la estabilización del sistema estructural. Una de las prácticas que sí parece tener un efecto positivo sobre el contenido total de materia orgánica en el trópico húmedo es la quema del rastrojo. Según van Wambeke (1992), varios investigadores señalan incrementos de 30 a 40% en el contenido de materia orgánica en los campos donde se realiza una quema rápida de los residuos. Los resultados son comparados con los de las parcelas completamente protegidas contra el fuego. A pesar de tener

efectos negativos como son: el incremento de las tasas de erosión del suelo desprotegido; la disminución de la transpiración, que afecta directamente al régimen hídrico del suelo como resultado al remover la vegetación; la exposición del suelo al impacto directo de las gotas de lluvia; y el sellado de la superficie del suelo, que disminuye las tasas de infiltración, la quema de residuos orgánicos incrementa la disponibilidad de fósforo y el contenido de nitrógeno en forma de amoníaco (van Wambeke, 1992).

Según estudios, en la zona de Veracruz, con el laboreo tradicional, que incluye la práctica de la quema del rastrojo, el contenido de materia orgánica en el Vertisol se incrementó en más de 60% en comparación con el suelo con el laboreo mínimo, protegido contra los incendios. El Vertisol en descanso tuvo un contenido de materia orgánica similar a este (Oleschko *et al.*, 1993).

2. Eficiencia agronómica de los sistemas de manejo.

El concepto de la eficiencia agronómica de los sistemas de manejo es amplio e incluye varios aspectos (Oleschko *et al.*, 1992). En el presente trabajo solamente se analizará la base física de un sistema de manejo agronómicamente eficiente. Esta base, caracterizada en detalle por Dexter (1988), la constituyen todas las propiedades físicas del suelo que afectan el crecimiento o la producción del cultivo. Para que este último sea adecuado la magnitud de las propiedades mencionadas tiene que mantenerse a un nivel óptimo que constituirá la base física de un sistema del manejo eficiente agronómicamente.

El óptimo de las propiedades físicas de un suelo depende de su estado estructural, ya que éste ocupa el nivel superior en la jerarquía de las propiedades del suelo.

Regresando a análisis, tiene que mencionarse que el drenaje interno del Vertisol, afecta la consistencia de los Vertisoles y, por lo tanto, la eficiencia energética de las prácticas agrícolas, es el pilar de la eficiencia agronómica del manejo. Su importancia es mayor en las zonas tropicales que en las templadas y su calidad está relacionada directamente con el grado de desarrollo y con la estabilidad de la estructura del suelo.

Es recomendable evaluar la estructura de los Vertisoles en términos de: capacidad del suelo de formar mulch, estabilidad del espacio poroso intra e interagregados, porosidad total, morfología de los poros y rugosidad de las paredes de éstos, estabilidad de las grietas y carácter de sus paredes, etc. El control del drenaje interno del Vertisol por medio de prácticas agrícolas es costoso y no siempre efectivo. Sin embargo, si dentro del paquete tecnológico no se atiende a este factor, todas las otras prácticas estarán en riesgo de fracasar.

Si dentro de un clima templado el drenaje interno insuficiente del Vertisol puede disminuir la producción total del cultivo, en el caso del trópico este factor llega a ser la principal causa de la pérdida total de la cosecha.

El drenaje interno de los Vertisoles está determinado, en primer lugar, por el carácter y la magnitud de su espacio poroso, producto del arreglo en el espacio de los macro y microagregados. Para propósitos comparativos, se recomienda referir los parámetros del arreglo estructural de los Vertisoles, a una misma humedad del suelo (que puede fluctuar entre la capacidad de campo, -0.3 atm, y el punto de marchitez permanente, -14.7 atm). Estos parámetros son indicadores directos de la eficiencia agronómica de los sistemas de manejo.

Dentro del perfil de un Vertisol maduro Dudal y Eswaran (1988) distinguen cinco zonas con diferentes morfología y propiedades de los elementos estructurales. La profundidad, el grosor y el grado de expresión de cada una de las zonas depende de las fluctuaciones cíclicas de la humedad en el suelo. Sin embargo, su posición relativa dentro del perfil es bastante estable. Todos los parámetros que describen la estructura del Vertisol pueden servir de indicadores de los cambios que ocurren como consecuencia de su manejo.

Cualquier cambio que se presenta en la dinámica de la humedad del Vertisol afecta los agregados, modificando continuamente su forma, tamaño y grado de su desarrollo, y el espacio poroso, afectando su morfología, la distribución de los poros por tamaño y el patrón del espacio poroso. Este último rasgo típico de los Vertisoles, incluye el patrón de las grietas.

El patrón de las grietas es determinante del buen drenaje interno de los Vertisoles y cambia bruscamente en respuesta al laboreo, de acuerdo con las tendencias del cambio del régimen hídrico del suelo y como reflejo de los cambios ocurridos en la periodicidad y en la profundidad de los procesos alternados de expansión y contracción. Las grietas penetran la capa superficial del Vertisol hasta la profundidad pronunciada. Según Dudal y Eswaran (1988), el estado de humedad en diferentes zonas estructurales del Vertisol define la profundidad del agrietamiento, la frecuencia de las grietas y su tamaño y forma.

Se reconoce que las grietas en los Vertisoles juegan un papel específico e importante, desde el punto de vista agronómico, ya que están relacionadas con los regímenes de humedad y de aireación de estos suelos. Por un lado, gracias al continuo agrietamiento de los Vertisoles tiene lugar un mezclado casi perfecto del material sólido que cae a las grietas desde las capas superiores, lo que constituye una de las posibles razones de la homogeneización del suelo en cuanto a color y a otras características; y, por otro lado, las grietas son responsables de un fenómeno físico muy interesante e importante, típico de los Vertisoles: el flujo preferencial del agua y de las sustancias. Este último se efectúa por las grietas, provocando pérdidas importantes de fertilizantes y de agua de la capa arable del suelo. La posibilidad de pronosticar de un modo exacto estos flujos es una necesidad concreta para el manejo eficiente de los Vertisoles involucrados en la agricultura. El conocimiento de las características relacionadas con el flujo preferencial, además de los otros parámetros convencionales, permite incrementar la precisión en el diseño de las normas de riego en los Vertisoles y adecuar los sistemas de su drenaje.

Tiene que reconocerse que el proceso de agrietamiento en los suelos expandibles es controlable por medio de prácticas agrícolas. El patrón de grietas cambia bruscamente con el manejo, por lo que puede servir como indicador directo de su eficiencia.

Las porosidades intraagregados e interagregados del Vertisol que definen el drenaje interno del suelo, además de ser dinámicas en el tiempo, tienen, frecuentemente, una magnitud total insignificante. La

principal característica del espacio, tanto intragregados como interagregados, que determina la eficiencia del drenaje interno del suelo, es su capacidad de cerrarse completamente durante el humedecimiento del suelo. Esta capacidad está en función directa de la rugosidad de las paredes de los poros en el Vertisol. Este último rasgo estructural, que se considera de primordial importancia para los suelos expandibles (Bouma, 1977), tiene que evaluarse a nivel de observación micro, utilizando como instrumento de análisis una lupa o un microscopio óptico. Cuanto más rugosas son las paredes de los poros, menor es la probabilidad de que se cierren completamente durante la expansión del suelo y mejores son las condiciones de drenaje interno de éste dentro del mismo intervalo de humedad (Bouma *et al.*, 1977). La rugosidad de las paredes de los poros es uno de los indicadores precisos de la eficiencia del manejo de los Vertisoles.

Los Vertisoles altamente arcillosos, montmorilloníticos, presentan otro rasgo estructural, el que sirve de indicador directo de las tendencias de la dinámica del Vertisol bajo manejo: una capa superficial, de 2-2.5 cm de grosor, formada por agregados en forma de nuez. El proceso de desarrollo de esta capa, denominado auto-mezclado, es típico de algunos Vertisoles. El antiguo nombre de los Vertisoles (Grumozems) se relaciona precisamente con la presencia de esta capa. Sin embargo, la capa de auto-mezclado no se presenta en todos los Vertisoles y es fácilmente destruida por las prácticas agrícolas. En caso de existir, la persistencia y estabilidad de la capa mencionada puede servir de indicador directo de la eficiencia agronómica del sistema de manejo.

Entre otros indicadores de la eficiencia agronómica de los sistemas de manejo en los Vertisoles se destacan, por la simplicidad en cuanto a su uso, las propiedades pedomórficas de estos suelos.

El primer indicador pedomórfico (el que reacciona bruscamente a cualquier cambio en el Vertisol bajo manejo) es el color. La mayoría de los Vertisoles se caracterizan por un color oscuro, hasta negro, a pesar de que frecuentemente el contenido de materia orgánica es bajo. La ausencia de color negro en estos suelos se relaciona con: 1) el menor contenido de montmorillonita; 2) un mejor drenaje; 3) un mayor contenido de oxihidratos

de hierro; o 4) con la combinación de estos tres factores.

Otro rasgo típico de los Vertisoles en condiciones naturales es la homogeneidad de la masa basal en cuanto a su color; cualquier cambio en esta propiedad refleja un desequilibrio del sistema, que puede significar su degradación.

El color del Vertisol es un indicador directo de las condiciones de drenaje interno con diferentes sistemas de manejo. La decoloración del Vertisol, como resultado de su manejo, es un aspecto importante e indicativo de la eficiencia en el uso de este suelo. El fenómeno mencionado puede compararse, por su origen, con la pérdida de coloración del material fino del Vertisol durante los análisis de laboratorio, cuando, por la oxidación con el agua oxigenada, el Vertisol adquiere un color casi blanco.

Otra propiedad pedomórfica importante que, además, puede utilizarse como un indicador directo de los cambios que ocurren en el Vertisol bajo manejo, es su micro y macrovariabilidad. No debe olvidarse que la principal tendencia de los procesos naturales de desarrollo genético del suelo, evaluada a escalas geológicas de tiempo, conduce a su homogeneización (Arnold, 1990). Las prácticas agrícolas que tienen el objetivo de homogeneizar las propiedades de las capas arables, conducen, en realidad, al fenómeno contrario, al incremento de la heterogeneidad del suelo.

En el caso del Vertisol, el resultado directo de los procesos naturales de expansión y contracción y de las presiones mecánicas internas relacionadas con estos procesos, es la formación del microrrelieve típico, llamado gilgai. Este microrrelieve, determinante de la variabilidad en el espacio de las propiedades del Vertisol, desaparece por completo, o parcialmente, con diferentes sistemas de manejo. El cultivo prolongado de estos suelos tiende a hacer desaparecer totalmente este relieve. En el caso que el microrrelieve esté presente, se observa una diferencia drástica en la emergencia y en las condiciones de crecimiento del cultivo entre las depresiones y las partes elevadas del relieve. Como consecuencia de este fenómeno, dentro de los campos se desarrollan las manchas de cultivo. Las diferencias en los regímenes de humedad y de aireación entre las microdepresiones y las

microcolinas son las causas de este fenómeno. El laboreo tiende a disminuir la variabilidad del microrelieve natural de los Vertisoles.

Con base en el análisis realizado, puede concluirse que todas las propiedades específicas de los Vertisoles están relacionadas directamente con el fenómeno de expansión y contracción, por lo que reflejan de un modo objetivo el régimen hídrico del suelo. El conjunto de estas propiedades puede utilizarse como indicador directo de los cambios ocurridos en el Vertisol con el manejo, reflejando el cambio en el patrón de humedecimiento y secado alternados del suelo.

La génesis del proceso de expansión y contracción fue estudiada en detalle por Wilding y Tessier (1988). Una de sus conclusiones tiene mucha importancia práctica y su discusión es indispensable dentro del presente análisis: los cambios más grandes en el volumen del Vertisol se observan en el suelo húmedo y coinciden con el intervalo de humedad aprovechable, de -0.33 a $20 \cdot 10^{-3}$ Pa (Wilding y Tessier, 1988). Con base en esta observación puede concluirse que, manteniendo la humedad del Vertisol en un nivel óptimo, es posible controlar su agrietamiento.

Según los estudios de los autores recién citados, el fenómeno de la expansión y contracción en los Vertisoles está gobernado por un gran número de factores, tanto externos como internos. Dentro de los últimos se mencionan el origen de los materiales parentales, su textura, la mineralogía de la arcilla, la química y la fábrica del suelo. Entre los factores externos tienen una importancia primordial el clima, la topografía, la vegetación y el historial de los estreses de humedad en el Vertisol. El sistema de laboreo, las prácticas de manejo del cultivo y las rotaciones utilizadas son poderosos factores externos que determinan el potencial de agrietamiento del Vertisol.

La posición geomorfológica típica de los Vertisoles también tiene que considerarse durante el diseño de las prácticas de manejo eficiente de ellos. La posición fisiográfica más común corresponde a las planicies aluviales o llanuras, frecuentemente sujetas a fluctuaciones en el nivel de aguas subterráneas y cubiertas por materiales parentales jóvenes. En este caso, el factor determinante del desarrollo del perfil del Vertisol es la profundidad hasta el material

parental. Importantes áreas de los Vertisoles coinciden con materiales parentales ricos en basalto, diversos sedimentos y caliches (Dudal y Eswaran, 1988). Como resultado, el relieve típico de los Vertisoles es plano, por lo que el drenaje superficial adecuado es otro de los factores externos determinantes de su manejo eficiente.

CONCLUSIONES SOBRE LA PROBLEMATICA GENERAL DEL MANEJO DE LOS VERTISOLES

Con base en el análisis realizado, y hablando en términos generales, sin referirse a las condiciones climáticas reales de un área dada de Vertisoles, pueden distinguirse los siguientes puntos como los definitorios de un manejo eficiente de los Vertisoles:

1. Selección rigurosa de las operaciones de laboreo a seguir y de los implementos a utilizar, con base en el conocimiento de la calidad, del grado de desarrollo de la estructura en la capa superficial del Vertisol y de su dinámica durante los procesos alternados de humedecimiento y secado. Es necesario diseñar las propiedades de la capa arable tomando en cuenta las siguientes condiciones que afectan el crecimiento del cultivo: un mejor contacto de la semilla con el suelo; un régimen adecuado de aireación y humedad para la semilla y la plántula y, como consecuencia, una mayor y más rápida germinación y emergencia del cultivo; y un volumen máximo y estable de suelo apto para el desarrollo del sistema radical (Dexter, 1990).
2. La creatividad en la programación de las prácticas agrícolas mencionadas es determinante de la sustentabilidad del sistema de manejo diseñado para los Vertisoles.
3. Durante el diseño se recomienda: a) tomar en cuenta el comportamiento específico de un Vertisol dado y su interacción con los factores concretos del medioambiente; b) la precisión en el tiempo del laboreo y de todas las operaciones de campo será determinante de la eficiencia energética de un sistema de manejo dado; c) incluir en los paquetes tecnológicos las prácticas de mejoramiento del suelo diseñadas para cada situación concreta; d) diseñar prácticas de control del agua, incluyendo las de drenaje superficial adecuado e interno, en conjunto con los sistemas de riego óptimos que simultáneamente juegan el papel de sistema de drenaje; (calcular

precisamente las normas de riego y los sistemas de riego óptimos para cada área son factores determinantes del uso eficiente de los Vertisoles); e) seleccionar los cultivos o sus rotaciones de forma óptima es de primordial importancia en el diseño de prácticas que no degraden a los Vertisoles. Las prácticas agrícolas seleccionadas serán distintas para suelos expandibles con el carácter vértico de diferentes zonas climáticas.

SELECCION DE CULTIVOS

Se analizará muy brevemente el último punto de interés dentro del diseño de las prácticas de manejo eficiente de los Vertisoles, refiriéndose primero al trópico húmedo donde es importante seleccionar los cultivos, cuyo desarrollo no se restringe como resultado de las propiedades específicas del Vertisol.

Según Ahmed (1988), con base en todas las limitaciones discutidas anteriormente, tiene que restringirse el intervalo de cultivos recomendados como aptos para un crecimiento adecuado en los Vertisoles. Este intervalo siempre será muy limitado para las zonas tropicales.

El manejo eficiente del Vertisol para diferentes cultivos será distinto, dependiendo de la tolerancia del cultivo a las inundaciones periódicas y prolongadas. En general, los Vertisoles no son suelos recomendables para cultivos arbóreos (Ahmad, 1988). Estos últimos, tampoco se consideran recomendables para las áreas con Vertisoles de las zonas secas y semi-húmedas. Dentro de los árboles, las palmeras de coco (*Cocos nucifera*) y de aceite (*Elaeis guineensis*) son las más recomendables. A la inversa, el cacao (*Theobroma cacao*) es particularmente insustentable en estos suelos (Ahmad, 1988).

Los cultivos de gramíneas, tales como los cereales, la caña de azúcar y los diferentes pastos son los más adecuados para las condiciones de los Vertisoles de las zonas tropicales (Ahmad, 1988). Según este autor, el sistema radical vigoroso y extensivo de estos cultivos, les permite resistir las presiones mecánicas que se generan dentro del sistema suelo-raíz durante los procesos alternados de expansión y contracción. Varios investigadores señalan a la caña de azúcar

como un cultivo apto para las condiciones que presenta el Vertisol, ya que puede cultivarse en un suelo muy húmedo, casi en estado de lodo.

En las condiciones del trópico, las leguminosas no muestran un desarrollo sustentable. Sin embargo, si su crecimiento se realiza en condiciones específicas creadas por prácticas de laboreo diseñadas especialmente para ellas (por ejemplo, acollar las plantas), se obtienen resultados bastante satisfactorios. La baja adaptabilidad de las leguminosas a las condiciones físicas del Vertisol es aplicada por diferentes autores con la severa inhibición de la actividad del *Rhizobium* en los suelos arcillosos del trópico (Ahmad, 1988).

Las hortalizas, por el contrario, se desarrollan de un modo adecuado en estos suelos, a pesar de ser cultivos intolerantes a las inundaciones.

Entre los cultivos tolerantes Ahmad (1988) menciona, en primer lugar, al arroz, que parece ser un cultivo ideal para estos suelos, con una sola desventaja: no se conoce el grado de degradación física de los Vertisoles con la práctica de fango. El arroz es un cultivo que necesita de un drenaje mínimo para su crecimiento adecuado, no obstante, requiere de una superficie del terreno plana, lo cual le proporciona que proporcione una inundación óptima. El único requisito de drenaje para el arroz es evitar las inundaciones excesivas durante las lluvias prolongadas, que pueden limitar las operaciones de preparación del terreno para la siembra, la fertilización, el control de malezas, etc.

Para los cultivos tolerantes a las inundaciones se recomienda utilizar los equipos de laboreo tradicionales.

Los cultivos intolerantes a las inundaciones son, con frecuencia, los más comúnmente sembrados en los Vertisoles del trópico. Entre estos cultivos, el primer lugar por su importancia lo ocupa el maíz, seguido por las gramíneas de grano, la caña de azúcar, los cultivos oleíferos y algunos de bulbo. En el caso de la siembra de cultivos intolerantes a las inundaciones, el enfoque durante el diseño de los sistemas de laboreo se concentra, no en el drenaje interno del suelo, sino en el drenaje superficial adecuado (Ahmad, 1988). El control de éste último se

realiza por medio del establecimiento de diferentes infraestructuras muy costosas. Después de proporcionar un adecuado drenaje superficial, se diseñan las camas de siembra óptimas desde el punto de vista de su forma, tamaño y para cada cultivo determinado. El cultivo nunca puede sembrarse sobre un terreno plano (Ahmad, 1988).

Otro aspecto esencial de la eficiencia del manejo de los cultivos en los Vertisoles del trópico se relaciona con las prácticas de fertilización y de control de malezas utilizadas dentro de un paquete tecnológico. Ambas prácticas se realizan en el trópico en condiciones físicas del terreno sumamente inadecuadas. Se recomiendan ampliamente las prácticas de fertilización foliar o superficial que parecen ser las más eficientes en condiciones tropicales (Ahmad, 1988). Se recomienda controlar las malezas por medio de la preparación inicial adecuada del terreno, durante el laboreo primario. El establecimiento adecuado del cultivo es esencial desde el punto de vista del control de las malezas.

En lo que refiere a las zonas templadas, los Vertisoles, a diferencia de suelos de distinta génesis, poseen varios rasgos positivos que, dentro del marco de un manejo eficiente, los hace aptos para el uso agrícola sustentable en estas regiones, donde la falta de agua es uno de los problemas centrales de la agricultura. La alta capacidad de almacenamiento de agua, las propiedades químicas frecuentemente adecuadas y la elevada capacidad de restauración estructural son propiedades ventajosas de estos suelos para las regiones templadas (Puentes *et al.*, 1988).

Evaluada dentro del marco del manejo óptimo del suelo y del cultivo, la productividad potencial de estos suelos es elevada. Sin embargo, Puentes *et al.* (1988) señalan que, en muchos casos comerciales, el rendimiento del cultivo en los Vertisoles es bajo.

Entre los cultivos tradicionales de los agroecosistemas con Vertisoles en las zonas templadas se destacan los pastos, considerados como una excelente opción para las condiciones señaladas (Clarke, 1986; Puentes *et al.*, 1988).

Las rotaciones de cereales con pastos mezclados (especies gramíneas y leguminosas) sigue siendo una de las mejores alternativas

dentro del sistema de manejo eficiente del Vertisol, dado que permiten mantener las condiciones físicas adecuadas e incrementar la productividad del cultivo (Puentes *et al.*, 1988). En lo que se refiere a los sistemas de laboreo, según estos autores, la minimización de las operaciones de laboreo parece ser una estrategia adecuada para las zonas templadas.

CONCLUSIONES

Con base en esta discusión puede concluirse que el manejo eficiente de los Vertisoles en diferentes zonas climáticas está en función de prácticas de laboreo eficientes, una selección óptima del cultivo, una siembra adecuada, una fertilización óptima, el control continuo del drenaje y del grado de agrietamiento del suelo, el control de las malezas y de la erosión, etc. Lo importante es entender que, a diferencia de los suelos agrícolas de otra génesis, el fracaso de una sola de las prácticas agrícolas mencionadas en el Vertisol pone en peligro la eficiencia de todas las otras, aunque éstas estén bien diseñadas. Son prácticas que en general requieren de un diseño creativo, que va a diferir para los Vertisoles de distintas zonas climáticas y, posiblemente, de un campo a otro.

A diferencia de los suelos de distinta génesis, los Vertisoles reaccionan de modo drástico y rápido a cualquier práctica agrícola de mejoramiento, lo cual beneficia al crecimiento del cultivo (Stewart *et al.*, 1991).

Si se busca un lema para el manejo de los Vertisoles, deben recordarse las palabras de van Wambeke (1992): "El manejo de los Vertisoles es el manejo de las grietas".

LITERATURA CITADA

- AHMAD, N. 1982. Acid Vertisols. Paper presented at 5th Soil Classification Symposium, Khartoum, Sudan, November, 1982.
- AHMAD, N. 1988. Management of Vertisols in the humid tropics. 97-115. In: L.P. Wilding and R. Puentes (eds.). Vertisols: their distribution, properties, classification and management. Texas A.M. University Press, College Station, TX.
- ARNOLD, R.W., ISZABOLCS, V.O. TARGULIAN. 1990. Global soil change. International Institute for Applied Systems Analysis, Laxenburg, Austria.

- BOUMA, J., A. JONGERIUS, O. BOERSMA, A. JAGER, and D. SCHOONDERBEEK. 1977. The function of different macropores during saturated flow through four swelling soil horizons. *Soil Sci. Soc. Amer. J.* 41: 945-950.
- CLARKE, A.L. 1986. Cultivation. pp. 273-303. *In*: J.S. Russell and R.F. Isbell (ed.) *Australian soils: The human impact*. University of Queensland Press, St. Lucia, Australia.
- CUANALO, H., E. OJEDA, A. SANTOS, and C.A. ORTIZ. 1989. Provincias, regiones y subregiones terrestres de México. Colegio de Postgraduados, Chapingo, Méx.
- DEXTER, A.R. 1988. Advances in characterization of soil structure. *Soil Tillage Research* 11: 199-238.
- DUDAL, R., and H. ESWARAN. 1988. Distribution, properties and classification of Vertisols. pp. 1-22. *In*: L.P. Wilding and R. Puentes (eds.) *Vertisols: their distribution, properties, classification and management*. Texas A.M. University Press, College Station, TX.
- GUMBS, F.A. 1982. Soil and water management features in Trinidad and Guyana. *Trop. Agric.* 59:76-81.
- KRANTZ, B.A., J. KAMPEN, and M.B. RUSSEL. 1978. Soil management differences of alfisols and Vertisols in the semiarid tropics. pp. 191-198. *In*: M. Stelly (ed.) *Diversity of soils in the semiarid tropics*, ASA Special Publication 34, Soil Science Society of America, Madison, WI.
- LOMELI, G. 1993. Distribución y propiedades específicas de los Vertisoles de Quintana Roo. (no publicado).
- OLESCHKO, K., H. ARIAS R., F. CABRERA C. 1992. Unified index of soil structure stability (Example of two soils of Mexico). *Terra* 10: 151-165.
- OLESCHKO, K., J.D. ETCHEVERS B. and L. OSORIO J. 1993. Pedological features as indicators of the tillage effectiveness in Vertisols. *Soil Tillage Research* 26: 11-31.
- VAN WAMBEKE, A. 1992. Soils of the-tropics. Properties and appraisal. Department of Soil, Crop, and Atmospheric Sciences, Cornell University, Ithaca, New York. McGraw-Hill, Inc. USA.
- WILDING, L.P., and D. TESSIER. 1988. Genesis of Vertisols: shrink-swell phenomena. pp. 55-81. *In*: L.P. Wilding and R. Puentes (eds.) *Vertisols: their distribution, properties, classification and management*. Texas A.M. University Press, College Station, TX.
- PUENTES, R., B.L. HARRIS, and C. VICTORA. 1988. Management of Vertisols of temperate regions. pp. 129-145. *In*: L.P. Wilding and R. Puentes (eds.) *Vertisols: their distribution, properties, classification and management*. Texas A.M. University Press, College Station, TX.

WATER-SOLUBLE FLUORIDE LEVELS IN PLANT SPECIES GROWN NEAR A HYDROFLUORIC ACID PRODUCTION PLANT

Niveles de Fluoruro Soluble en Agua en Especies Vegetales que Crecen en las Cercanías de una
Planta Productora de Acido Fluorhídrico

Jorge D. Etchevers B., Arturo Galvis S., Tomás Hernández y L. de la Isla. Bauer

Centros de Edafología y Fitopatología, Colegio de Postgraduados
56230 Montecillo-Chapingo, Méx., México

Index words: Fluoride pollution, Plant fluoride toxicity symptoms, Fluoride in Sorghum.

Palabras clave: Contaminación co fluoruro, Síntomas de toxicidad con fluoruros en plantas, Fluoruro en sorgo.

SUMMARY

Observations made in a north-eastern Mexico agricultural zone in 1985 indicate the air pollution damage to crops caused by hydrofluoric acid (HF) emitted from a local fluoride processing plant. A two phase study involving visual diagnosis and chemical analysis of plant tissues was carried out. Sorghum (*Sorghum vulgare*) plants, the main crop in the area, observed during the vegetative growth phase showed chlorotic mottling at leaf tips and margins. Plants of the *Prosopis* genus exhibited leaf tip necrosis, and those of the *Bauhinia* genus, leaf margin necrosis. These symptoms coincide with those described by the U.S. Environmental Protection Agency for periodic exposure to low levels of HF. Sorghum plant tissue samples taken at three different times over a six-month period showed average F^- levels of from 52 to 86 $\mu\text{g g}^{-1}$,

exceeding the 40 $\mu\text{g g}^{-1}$ level at which toxic symptoms begin to show up. F^- concentrations decreased as distance from the emissions source increased. The magnitude of this reduction depended on the time of sampling and the initial concentration. October 1985 and April 1986 values of 100 to 130 $\mu\text{g g}^{-1}$ F^- were obtained within a few meters of the source; these dropped as an average 0.01 $\mu\text{g g}^{-1}\text{m}^{-1}$ of distance from the source. On the other hand, after a rainfall in May 1986, F^- levels in plants near source were about 15 $\mu\text{g g}^{-1}$ F^- and these values showed average reductions of 0.0005 $\mu\text{g g}^{-1}\text{m}^{-1}$ of distance from the source.

RESUMEN

Observaciones hechas en una zona agrícola del noroeste de México, en 1985, mostraron que la contaminación del aire con ácido fluorhídrico (HF) provocada por una planta procesadora de fluorita, causaba daños en algunos cultivos ubicados en la cercana. Un estudio de dos fases: descripción de síntomas visuales y análisis químicos de tejidos, se condujo en el área amagada. Las plantas de sorgo (*Sorghum vulgare*), principal cultivo de la zona de interés, presentaban un moteado clorótico en los márgenes y ápices de las hojas durante su fase

Recibido 2-91.

vegetativa. Otras plantas como las del género *Prosopis* exhibían necrosis del ápice de las hojas y las del género *Bauchinia* necrosis en el margen de éstas.

Estos síntomas coinciden con aquellos descritos por la Agencia del Medio Ambiente de los Estados Unidos de América como toxicidad provocada por exposición periódica a bajos niveles de HF.

El nivel de F⁻ encontrado en los tejidos de sorgo, colectados en tres oportunidades durante un período de 6 meses, varió en promedio de 52 a 86 µg g⁻¹ de F⁻, valor que excede en 40 µg g⁻¹ el nivel al cual los síntomas de toxicidad por este elemento comienzan a manifestarse.

La concentración de F⁻ disminuyó al aumentar la distancia desde el punto de emisión. La magnitud de la reducción dependió de la oportunidad del muestreo y de la concentración máxima en las cercanías. En octubre de 1985 y abril de 1986 se midieron valores de 100 a 130 µg g⁻¹ F⁻ a unos cuantos metros de la fuente emisora, con una tasa de disminución de 0.01 µg g⁻¹ m⁻¹ (promedio de ambas fechas). Sin embargo, en marzo de 1986 después de una lluvia, los niveles de F en las plantas de esa zona bajaron 15 µg g⁻¹ F⁻, con una tasa de decrecimiento promedio de 0.0005 µg g⁻¹ m⁻¹.

INTRODUCTION

Five Northeastern Mexico communities have alleged reductions in crop yields due to the presence of a fluorite processing plant in the area. The plant, which produces as much as 60,000 Mg yr⁻¹ of hydrofluoric acid (HF), possibly affects 4000 ha of irrigated land. The affected area, which main crop is grain sorghum, produces average yields of 2 t/ha, while surrounding uncontaminated land gives averages of 4 to 5 t/ha for the same crop. The HF---the predominant form of gaseous fluoride (F) (Amundson *et al.*, 1982)---is adsorbed onto leaf surfaces and later taken into the plant through the stomata. A variation of this is the case of the xerophytes, where F absorption occurs by slow diffusion through the epidermis and cuticle (Ares *et al.*, 1980). The absorbed F⁻ has the following effects on plants (Air Pollution, 1976): upon translocation to the leaf

tip, chloroplast action is suppressed, causing tip chlorosis (Yamahuchi *et al.*, 1983); as F concentrations increase, tissue necrosis sets in (McCune *et al.*, 1966) as in the case of *Chlorophytum comosum* (Ben-Jaacov *et al.*, 1984), *Gladiolus gandarensis* (McCune *et al.*, 1966) and *Vitis vinifera* (Doley, 1984). Other symptoms are the blotches (necrosis) at the leaf margins (Lopez-Belmonte, *et al.*, 1985) observable in *Zea mays* (Hitchcock *et al.*, 1964), *Lolium longiflorum* Thunb (Marousky, 1981) and *Dicotyledoneae* (Robinson, 1978). In susceptible sorghum cultivars, a marginal chlorosis develops followed by necrosis beginning at the leaf tip. This may extend down to the basal section if exposure to F⁻ continues. Tolerant varieties suffer only marginal chlorosis with no necrosis (Robinson, 1978). Finally, exposure to F⁻ can cause deformed and discolored leaves, which may show chlorotic and/or necrotic mottling along and on either side of the central nervation, especially in old leaves. Such is the case of *Dracaena fragans* (Conover & Poole, 1982) and fruit trees (Air Pollution, 1976).

The severity of the symptoms depends on cultivar susceptibility and the amount of F⁻ absorbed (Hitchcock *et al.*, 1964). Schneider & Mac Lean (1970), however, found no significant relationship between foliar damage and F⁻ accumulation within species at a constant HF concentration and exposure time. Changes in F⁻ concentrations in plant tissues over time may be due to three factors (National Academy of Sciences, 1971): dilution through intensive biomass development (Kronberger & Halburach, 1977); loss of old leaves containing F⁻; and F⁻ loss from leaves through the action of atmospheric agents. A strong correlation generally exists between atmospheric F⁻ levels and plant tissue concentrations. Fluoride levels in receptor organisms also increase when the plants or animals are nearer to the emission source (Air Pollution, 1976).

The affected forest and agricultural areas lie near industries which emit HF. These include fluorite processing plants, brickyards, foundries, aluminum producers, phosphate fertilizer manufacturers, and other coal-burning industries (Air Pollution, 1976; Amundson *et al.*, 1982). Emissions are usually a mixture of different gases, having a synergetic effect on F⁻

toxicity. The combination of F^- with sulfur dioxide (SO_2), for example, enhances F^- accumulation in plant tissues (Mandl *et al.*, 1975). Atmospheric factors also affect F^- . Within the 65% to 80% relative humidity range, higher relative humidity results in greater stomatal F^- absorption, causing increased foliar tissue damage (MacLean, 1973). Wind velocity has been experimentally shown to have an effect on variations in F^- levels in *Vitis vinifera* under constant exposure (Doley, 1983). In this case F^- levels were greater as wind velocity increased. Besides the environmental factors already mentioned, fluorinated irrigation water also contributes significantly to the problem (Conover & Poole, 1982). In *Phaseolus vulgaris* irrigated by aspersion, F^- levels in leaves increase with evaporative demand and spray rotation velocity (Wallender & Keller, 1984). In crops with nitrate deficiencies, F^- toxicity is synergetically increased (Marousky, 1981).

Systematic visual observations carried out in the area of the present study since 1985 had registered the presence in both crops and native vegetation of symptoms much like those caused by exposure to HF. Therefore, this study proposed to observe and describe plant symptoms, check for the presence of F^- in plants, and determine the relationship between soluble F^- levels and distance from the emissions source.

MATERIALS AND METHODS

The present study centered in an area within a 15 km radius of the fluorite processing plant mentioned. Both the plant and the study area are part of a grain sorghum production zone. This work was carried out in three stages.

The first was a field trip to observe visual symptoms in plants growing in the area. These were recorded, and samples were taken for pathology studies to rule out disease and pests as possible causes of the symptoms. Samples of the ornamental *Bauhinia* spp. were analyzed to determine soluble F^- levels.

In the second stage, samples of diverse plant species collected on three separate occasions (October 25, 1985; December 13, 1985; and

April 21-24, 1986) and showing various degrees of injury were analyzed to determine soluble F^- .

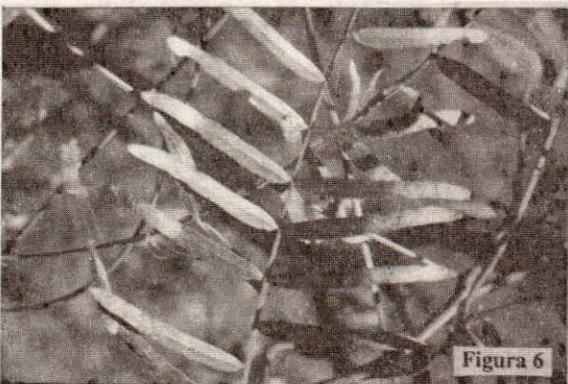
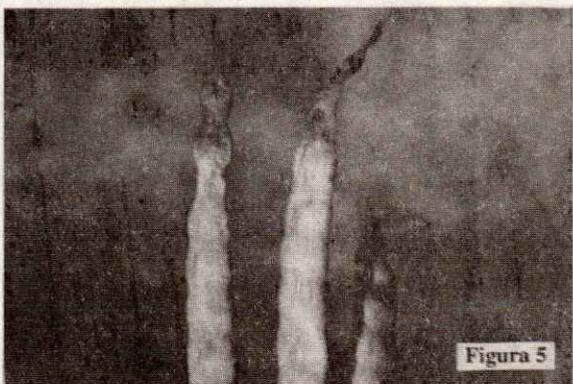
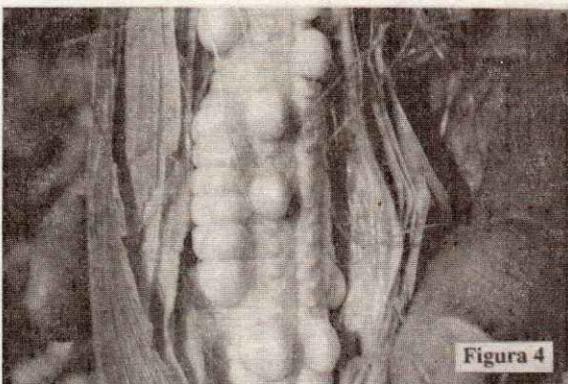
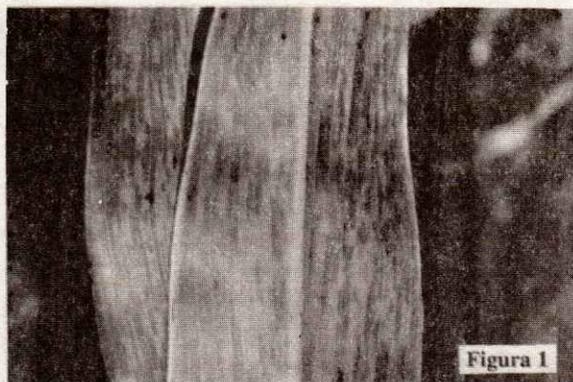
Finally, samples of sorghum plants along three imaginary lines (chosen on the basis of prevailing winds) to the West, Northwest and Southwest of the emissions source were collected at progressively greater distances (from 500 to 15,000m) from the source, and soluble F^- was determined. Except in the case of bushes and trees, the entire plant was used. Leaves were not washed prior to analysis so as to avoid F^- loss. Samples placed in brown paper bags and dried for 72 hours at 72°C in a forced-air oven.

Soluble F^- content was determined by the potentiometric method using a cell composed of a fluoride-sensitive electrode (Orion 94-09-00) and a reference electrode of Ag/AgCl with saturated potassium chloride (4M KCl) as the internal solution (Orion, 1983). TISAB IV, prepared by dissolving tris (hydroxymethyl) amino methane ($C_4H_{11}NO_3$) and sodium tartrate ($Na_2C_4H_4O_6 \cdot 2H_2O$) acidified with hydrochloric acid (HCl) was used as an adjuster of the total ionic strength. For the purpose of extraction, 0.5 g of dry material, passed through a 20-mesh sieve, was placed in a 100 ml polypropylene tube, 20 ml of distilled water was added and the mixture was shaken for 10 minutes at 180 OPM. The extract was filtered through Whatman 1 paper. A 10 ml aliquot of the solution was transferred to a 50 ml plastic cup and 10 ml of TISAB IV buffer added. Measurements were taken using a cell calibrated with standards of 0.1, 0.2, 0.3, 0.5, 1.0 and 10 $\mu g F^- g^{-1}$.

Pathological studies were performed by cutting the leaves into small sections, washing them for two minutes in hypochlorite ($NaClO$) at 1% and rinsing with sterilized distilled water. The samples were dried with filter paper and placed in potato dextrose agar (PDA). When sporulations appeared, slide samples were prepared using phenol lactate.

RESULTS AND DISCUSSION

The following visual symptoms were found in plants of the study area:



Sorghum vulgare and *Zea mays*: Marginal and tip chlorosis in leaves, with some marginal necrosis. Chlorosis was in the form of spots along the leaf tip margins, extending in some cases nearly to the foliar base. (Figure 1).

Zea mays: Leaves with intervenal necrotic banding possibly due to F⁻ toxicity; it resembles SO₂ injury (Figure 2). Silk burning and thus poor or no production of grains on the ear (Figures 3 y 4) are also caused.

Prosopis spp: Chlorotic mottling was seen in leaf tips and margins. In plants within 500 m of the source, leaflets showed marginal necrosis. (Figure 5). Tip burn of the sheath was also observed (Figure 6).

Malus pumila: Dark reddish brown discoloring of leaf tips and margins with slight necrotic stipple in intervenal areas.

Citrus plants: Small and irregular intervenal chlorotic blotches near leaf margins and tips.

Vitis vinifera: Greenish grey discoloring of leaf tissue along the margins and tips.

Iris: Leaf tip necrosis extending along margins toward the foliar base.

Rosa spp. showed also a very uniform marginal discoloring of the leaves (Figure 7).

Bauhinia spp.: Marginal and tip chlorosis and necrosis (Figure 8).

The plant pathology study revealed silver oval spots, with black pigmentation in the center, stretched out parallel to leaf nervation, in a few *Sorghum vulgare* specimens. These were attributed to the *Helminthosporium turcicum* mold.

Table 1 shows the F⁻ content of samples of this genus at different leaf ages. The effect of proximity to the source on soluble F⁻ levels is clearly evidenced here, as expected. In addition, young leaves show higher F⁻ than old ones in plants along SW and NW imaginary lines drawn for sampling purposes.

Figure 1. Chlorotic flecking possibly produced by high fluoride levels on sorghum. Some of the chlorotic tissue may become necrotic. These symptoms are similar in corn.

Figure 2. Acute injury possibly caused by high fluoride levels on corn. The yellowish to straw colored necrotic areas tend to be confined between the larger veins (A similar damage can be produced by SO₂)

Figure 3. Silk burning in corn might be caused by gaseous fluoride resulting in poor grain formation.

Figure 4. A close up of the damage induced by high fluoride levels due to silk burning in corn.

Figure 5. Necrotic apical foliar area possibly caused by high fluoride levels on *Prosopis* spp.

Figure 6. Tip necrosis of the sheath with a defined demarcation line, possibly caused by fluoride toxicity.

Figure 7. Tip and intercostal necrosis lesions on *Rosa* spp. attributed to high fluoride concentrations.

Figure 8. Foliar necrosis possibly produced by high fluoride levels on *Bauhinia* spp. Yellowing and necrosis are typically more prominent in certain portions of the leaf margin.

Tabla 1.
Water soluble F⁻ in sampled leaves
of *Bauhinia* spp plantas.

| Age | Sol. F ⁻ µg g ⁻¹ | Location |
|-------|---|----------|
| Young | 36.0 | 4 km SW |
| Old | 25.6 | 4 km SW |
| Young | 48.0 | 5 km NW |
| Old | 40.0 | 5 km NW |

Table 2 shows the results of the soluble F⁻ analyses of plant samples gathered on three separate occasions in the study area and corresponding to diverse species.

Average soluble F⁻ levels in tissues samples collected on October 28, December 13, 1985, and April 21-24, 1986, were 76, 52 and 87 µg g⁻¹ respectively. All of these exceed the 40 µg g⁻¹ lower limit at which toxic symptoms begin to show up in sorghum (Robinson, 1978), the main plant subject of the present study.

The ranges of values for F⁻ in the first, second and third set of samples were 52-113, 25-106, and 40-120 µg g⁻¹. Although values below the lower limit for producing toxic symptoms were obtained, most of the samples gave values equal or superior to this limit. The first and third sets of samples were taken at sites chosen randomly within a 6 km radius of the emissions source, and F⁻ in the different species sampled tended to decrease as a function of distance from the source toward the SW, NW, and W (reflecting the directions of prevailing winds). No such reduction for distance was found toward the S, but overall average plant F⁻ for this direction was less than that for others.

The second set of samples focused on leaves showing different symptoms and degrees of toxicity. Sample 9154 showed *Helminthosporium turcicum* damage and 52 µg g⁻¹ of soluble F⁻, while sample 9155 had typical F⁻ toxicity damage and soluble F⁻ concentrations of 106 µg g⁻¹. Both of these

samples were taken in the same direction and at the same distance. Mature leaves of a *Prosopis* plant exhibited leaflet tip necrosis at F⁻ levels of 96 µg g⁻¹, while young leaves from plant sample 9160, taken at the same distance and in the same direction, were unaffected at concentrations of 25 µg g⁻¹. Mature leaves taken at the same distance but in another direction (sample 9161) showed chlorosis in the entire leaf at 36 µg g⁻¹ F⁻.

Figure 9 shows sampling sites, and Figure 10 graph the values obtained in terms of distance from the emissions source. Table 3 shows the results of the analyses for soluble F⁻ in sorghum samples collected in both W and SW directions. This time, F⁻ levels turned out to be considerably less than those found on previous occasions. Average soluble F was 12.4 µg g⁻¹, with a range of values from 8 to 17.6 µg g⁻¹, all below the lower limit for producing toxicity.

One possible explanation may be a diluting of soluble F⁻ due to rains which fell prior to sampling.

In any case, the results show a significant reduction in soluble F⁻ as distance from the source increases.

The graphically illustrated values of Figure 10 were used to estimate regression equations for each direction, giving the linear function of soluble F⁻ to distance from the source.

Relationships in both directions were negative with R² = 0.80 and R² = 0.83 for swand W directions, respectively. Based on the equations, soluble F⁻ drops 0.0007 µg g⁻¹ m⁻¹ along the SW line, and 0.0043 µg g⁻¹ m⁻¹ along the W line---the same direction as prevailing winds---as one moves away from the source.

Using the results of the analysis shown in Table 3, regression equations were also calculated for soluble F⁻ versus distance. In this case, however, soluble F⁻ were obtained from samples not taken along predetermined transects as in previous cases. The relationships for samples taken on October 28, 1985 and April 21-24, 1986 were:

Tabla 2.

Amount of soluble F⁻ in plant tissue of various species collected at varying distances from the emissions source.

| Sample | Species | Distance | Sol. F. | Direction |
|----------------------|--------------|----------|--------------------|-----------|
| Sampling Oct/28.1985 | | m | µg g ⁻¹ | |
| 7845 | Weeds | 2400 | 63 | SW |
| 7846 | Circium sp | 2200 | 52 | NW |
| 7847 | Sorghum | 1200 | 99 | NW |
| 7848 | Sorghum | 3800 | 79 | W |
| 4849 | Sorghum | 1800 | 71 | NW |
| 4850 | Sorghum | 800 | 61 | W |
| 7851 | Sorghum | 5800 | 53 | SW |
| 7852 | Sorghum | 1000 | 91 | NW |
| 7853 | Sorghum | 4500 | 56 | W |
| 7854 | Sorghum | 6200 | 104 | SW |
| 7855 | Sorghum | 2000 | 63 | NW |
| 7856 | Sorghum | 1800 | 100 | W |
| 7857 | Apple | 4000 | 62 | W |
| 7859 | Grapevine | 4000 | 68 | W |
| 7860 | Orange | 1200 | 62 | W |
| 7861 | Irish | 1200 | 112 | NW |
| 7862 | Berberis sp | 3800 | 113 | NW |
| 7863 | Sorghum | 3800 | 70 | SW |
| 7864 | Weeds | 2800 | 68 | SW |
| 7864a | Sorghum | 2400 | 63 | SW |
| Sampling Dic/13/1985 | | | | |
| 9154 | Sorghum | 500 | 52 | SW |
| 9155 | Sorghum | 500 | 106 | SW |
| 9156 | Sorghum | 2000 | 31 | W |
| 9157 | Corn | 2000 | 39 | S |
| 9158 | Sorghum | 2000 | 29 | W |
| 9159 | Prosopis sp. | 500 | 96 | SW |
| 9160 | Prosopis sp. | 500 | 25 | SW |
| 9161 | Prosopis sp. | 500 | 36 | S |
| 9162 | Prosopis sp. | 15500 | 40 | SW |
| 9163 | Corn | 2000 | 62 | S |
| Sampling 21-24 Apr/ | | | | |
| 1986 | | | | |
| 1640 | Sorghum | 2000 | 82 | W |
| 1641 | Sorghum | 2000 | 92 | W |
| 1642 | Sorghum | 1500 | 120 | W |
| 1643 | Sorghum | 1500 | 114 | W |
| 1644 | Sorghum | 900 | 116 | NW |
| 1645 | Sorghum | 6300 | 40 | W |
| 1646 | Sorghum | 5500 | 46 | SW |

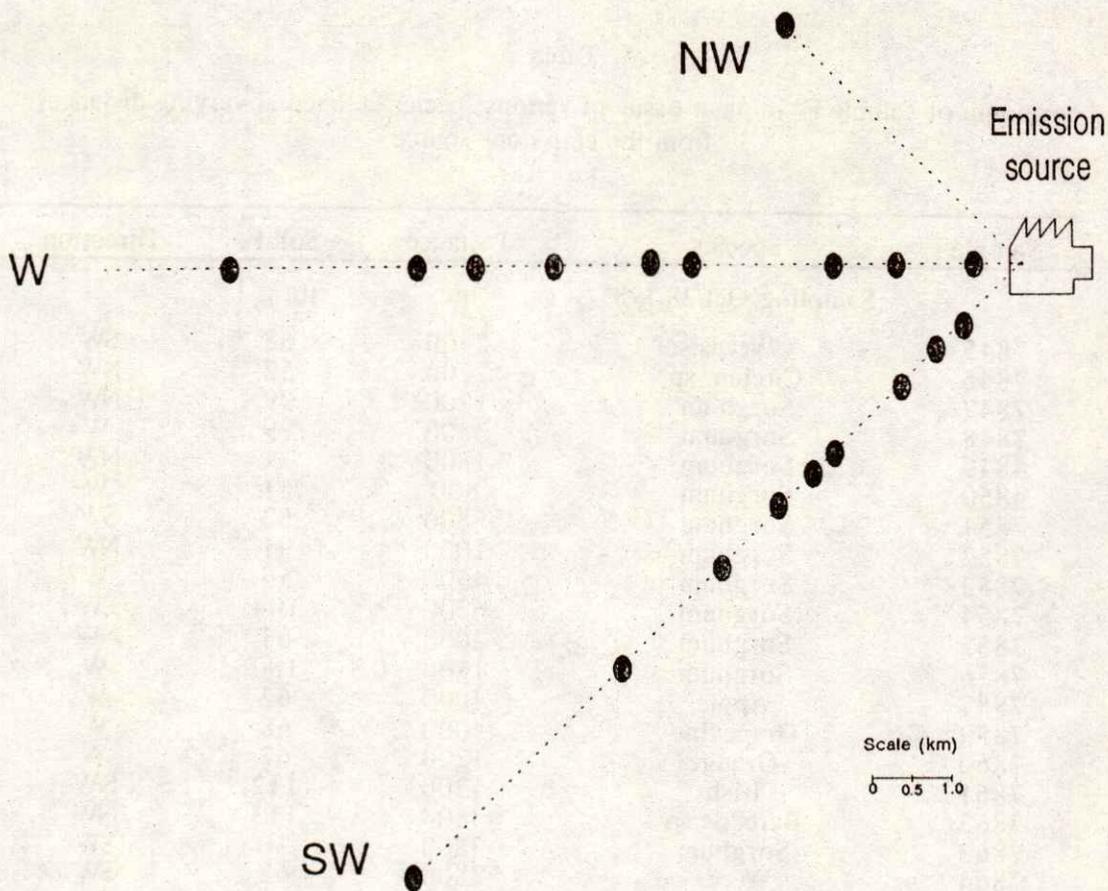


Figura 9. Location of the samples along three imaginary lines.

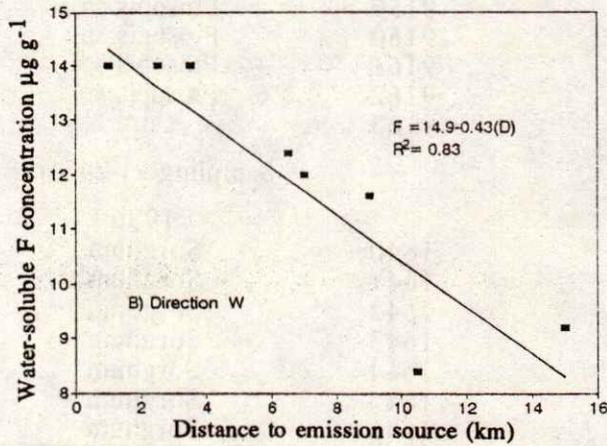
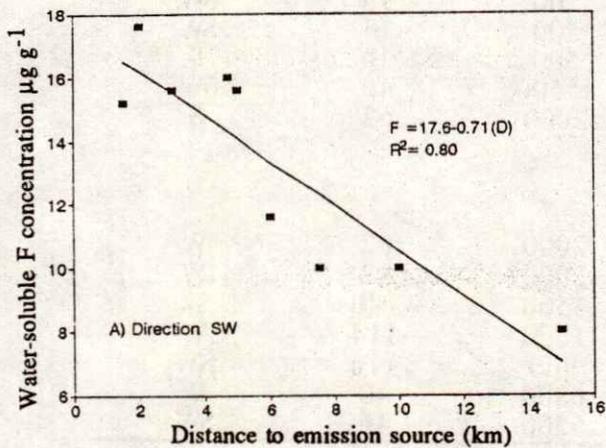


Figure 10. Water soluble F- concentrations as a function of the distance to emission source; (a) direction SW; (b) direction W.

Tabla 3.

Soluble F⁻ in sorghum samples collected May 13-15, 1986, at increasing distances from the emissions source.

| Site | Distance | Sol. F |
|--------------------------------|----------|--------------------|
| Lot # | m | µg g ⁻¹ |
| Imaginary line one (to the SW) | | |
| 1271 | 15000 | 8.0 |
| 3330 | 10000 | 10.0 |
| 3290 | 7500 | 10.0 |
| 3247 | 6000 | 11.6 |
| 3237 | 5000 | 15.6 |
| 3208 | 4700 | 15.6 |
| 475 | 3000 | 17.6 |
| 448 | 2000 | 15.2 |
| Imaginary line two (to the W) | | |
| 1814 | 15000 | 9.2 |
| 1793 | 11500 | 14.0 |
| 744 | 10500 | 8.4 |
| 706 | 9000 | 11.6 |
| 612 | 7000 | 12.0 |
| 26 | 6500 | 12.4 |
| 502 | 3500 | 14.0 |
| 471 | 2500 | 14.0 |
| 1 | 1000 | 14.0 |
| 583 | 6500 | 10.8* |

µg g⁻¹ of F⁻ = 965 - 0.0095m,

with r = -0.66, and

µg g⁻¹ F⁻ = 128.5 - 0.015 m,

with r = -0.95.

Here also, soluble F⁻ decreases at greater distances from the source.

The data obtained in this study indicate that even with pollution control equipment, sporadic emissions occur which affect plant metabolism. The reduction in soluble F⁻ after rains suggest that deposits occur mainly on leaf surfaces, and that toxic effects are restricted to dry periods when plants are able to absorb large quantities of the pollutant.

CONCLUSIONS

1. Visual symptoms for both crops and native plants within the study area coincide with toxic foliar F⁻ levels.

2. Sorghum plant tissue samples collected within a 6 km radius of the source prior to periods of rainfall showed soluble F levels above the 40 µg g⁻¹ value described by Robinson (1978) as the point where toxic symptoms begin to occur in sorghum.

3. Soluble F⁻ in sorghum plants is greater within 1500 m of the emissions source than at a distance of 15 km.

ACKNOWLEDGEMENTS

The authors express their gratitude to Mr. Michael Listman for translating the text to English and to Dr. R. J. Laird, for reviewing the text, as well as to the Comité Regional Campesino de Matamoros, Tamaulipas for partially financing this research.

BIBLIOGRAPHY

- AIR POLLUTION TRAINING INSTITUTE. (1976). Diagnosing vegetation injury caused by air pollution. Environmental Pollution Agency, Chapter 5: 1-25. U.S.A.
- AMUNDSON, R.G., L.H. WINSTEIN, P. VAN LEUKER, and L.J. COVALITO. 1982. Joint action of HF and NO₂ on growth, fluorine accumulation, and leaf resistance in marcross sweet corn. *Environmental and experimental Botany* 20:259-269.
- ARES, J.O., A. VILLA, and G. MONDADORI. 1980. Air pollution uptake by xerophytic vegetation: fluoride. *Environmental and Experimental Botany* 20: 259-269.
- BEN-JAACOV, J., POOLE, R.T., and CONOVER, C.A. 1984. Tipburn of *Chlorophytum comosum* 'Vitatum'. *HortScience* 19: 445-447.
- CONOVER, C.A., and POOLE, R. T. 1982. Fluoride induced chlorosis and necrosis of *Dracaena fragrans* 'Massangeana'. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 107: 136-139.
- DOLEY, D. 1984. Experimental analysis of fluoride susceptibility of grape vine (*Vitis vinifera* L.): foliar fluoride accumulation in relation to ambient concentration and wind speed. *New Phytol.*, 96: 337-351.
- HITCHCOCK, A.E., L.H. WEINSTEIN, D.C. McCUNE, and R.R. COE. 1962. Results of ten years work (1951-1960) on the effects of fluorides on gladiolus. (1962). *Contrib. Boyce Thompson Inst.* 21: 303-344.
- HITCHCOCK, A. E., L. H. WEINSTEIN, D.C. McCUNE, and J. S. JACOBSON. 1964. Effects of fluorine compounds on vegetation, with special reference to sweet corn. *J. APCA*, 14: 503-508.

- KRONBERGER, W., and G. HALBWACHS. 1977. Distribution of fluoride in Zea mays grown near an aluminium plant. 8th Conference of the International Society of Fluoride Research, may 29-31. Oxford, England.
- LOPEZ-BELMONTE, F., P. DE LA ESPERANZA, and MA. A. DIEZ. 1985. Acciones fisiológicas del flúor sobre el crecimiento y desarrollo de los vegetales. Anales de Edafología y Agrobiología: 1397-1411.
- MAC LEAN, D. C. 1973. Fluoride phytotoxicity as affected by relative humidity. Proceedings of the International Clean Air Congress. Int. Union of Air Pollution Prevention Assoc. VDI-Verlag, Dusseldorf A143-A145.
- MANDL, R. H., L. H. WINSTEIN, and M. KEVENY. 1975. Effects of hydrogen fluoride and sulphur dioxide alone and in combination on several species of plants. Environ. Pollut. 9: 133-143.
- MAROUSKY, F. J. 1981. Symptomology of fluoride and boron injury in Liliun longiflorum Thunb. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 106: 341-344.
- MCCUNE, D. C., HITCHCOCK, A. E., and L.E. WINSTEIN. 1966. Effects of mineral nutrition on the growth and sensitivity of gladiolus to hydrogen fluoride. Contrib. Boyce Thompson Inst., 23: 295-300.
- NATIONAL ACADEMY OF SCIENCE. 1971. Fluorides: Biologic effects of atmospheric pollutants. Division of Medical Sciences. National Research Council. Washington, D. C.
- ORION RESEARCH. 1983. Instruction Manual. Orion Research Incorporated, Cambridge, Massachusetts.
- ROBINSON J. D. 1978. Fluorine: it's occurrence, analysis, effects on plants, diagnosis and control. Special publication # 6. Commonwealth Bureau of Soils, London, UK.
- SCHNEIDER, R.E., M and D.C. MAC LEAN. 1970. Relative susceptibility of seven grain sorghum hybrids to hydrogen fluoride. Contrib. Boyce Thompson Inst., 24: 241-244.
- WALLENDER, W. W. and J. KELLER, 1984. Foliar fluoride accumulation under sprinkle irrigation. Transaction of the ASAE: 449-455.
- YAMAHUCHI, M., CHOI, W. K., and YAMADA, Y. 1983. Fluoride inhibition of photosynthesis in certain crop plants. Soil Sci. Plant Nutr., 29: 549-553.

EFFECTO DE LAS QUEMAS PRESCRITAS SOBRE ALGUNAS CARACTERISTICAS DEL SUELO EN UN RODAL DE PINO

Effect of Controlled Burns of a Pine Tree Stand on Some Soil Characteristics

José German Flores Garnica y Juan de Dios Benavides Solorio

Instituto Nacional de Investigaciones Forestales y Agropecuarias
Centro Regional de Investigaciones del Pacifico Centro
Campo Forestal Colomos, Apartado Postal 6-163,

Palabras clave: Quemias prescritas, Incendios forestales, *Pinus michoacana*.

Index words: Prescribed burns, Forest fires, *Pinus michoacana*.

RESUMEN

La quema prescrita es una herramienta práctica y económica utilizada en la conservación y mejoramiento del recurso forestal. En México, los casos de aplicación de las quemias controladas son pocos, ya que se desconocen los efectos del fuego en los ecosistemas forestales. Por ello, el objetivo del presente trabajo fue evaluar el efecto del fuego en el suelo, en un rodal de pino, con aplicación de quemias controladas en la Sierra de Tapalpa, Jalisco. Se definieron seis parcelas de 20 x 30 m, con tres repeticiones por tratamiento (quema en retroceso y quema a favor). Las quemias se hicieron en marzo de 1991, antes y después de éstas se tomaron muestras de suelo para evaluar los parámetros fisico-químicos siguientes: materia orgánica, nutrimentos (calcio, potasio, magnesio, manganeso, fósforo, (N nítrico y N amoniacal), pH y textura. De los resultados obtenidos en el suelo después de las quemias, destacan un ligero aumento del carbono

y una leve disminución en los niveles de potasio, fósforo y N nítrico, y un aumento de los niveles de calcio. Se señala la influencia de las lluvias en los cambios en textura. Aunque hubo algunos cambios en el suelo se concluye que no fueron significativos.

SUMMARY

Prescribed burn is a cheap and practical tool to conserve and improve forest resources. In Mexico, are few the cases of use of prescribed burns. This is due to the lack of knowledge on fire effects in mexican ecosystems. Therefore, the purpose of this work was to evaluate fire effects in a forest soil when prescribed burns were applied. This work was done in a pine forest, at the Sierra of Tapalpa, Jalisco, Mexico, where prescribed burns pro and against slope, were practiced. Six sites of 20 x 30 meters were used, with three repetitions for each kind of burn. Burns were done in March 1991. Before and after burns, soil samples were taken in order to evaluate the following parameters: a) organic material; b) nutrients (calcium, potassium, magnesium, manganese, phosphorus, nitric nitrogen, amoniacal nitrogen); c) pH; and d) texture. Among the most important results is light increase of carbon a light decrease of potassium, phosphorus and nitric nitrogen; and an increase of calcium. The effect of rain is considered too. The

conclusion is that there were no important changes in the soil after burns were practiced.

INTRODUCCION

Los bosques en México han sido y serán una importante fuente de bienes y servicios para el hombre. Pero para obtener su máximo beneficio debe realizarse un programa de manejo para aprovecharlos en forma racional y protegerlos de las constantes agresiones naturales o causadas por el hombre. Por ello, se han desarrollado planes de manejo para las condiciones de los bosques mexicanos, con el fin de conservar, fomentar y mejorar el recurso forestal. Aunado a esto, se han desarrollado alternativas de apoyo versátiles y económicas, como lo son las quemas prescritas. Estas últimas han tenido gran aplicación en otros países, ya que pueden ayudar a mejorar o a proteger mejor el bosque, según los objetivos que se pretendan. Para ciertas especies ayudan al establecimiento de la regeneración natural, en otros casos disminuyen el riesgo de incendios, permiten eliminar vegetación indeseable, etc. Además, la diferencia en costos entre esta práctica y cualquier otra alternativa es considerable.

A nivel mundial se han implementado las quemas controladas como una herramienta de apoyo en los planes de manejo forestal. En México los antecedentes al respecto son muy pocos debido a la escasa difusión de esta técnica, o a la casi nula información de los efectos de las quemas prescritas en los elementos de los ecosistemas forestales mexicanos. La aplicación de quemas prescritas de una manera científica y justificable en los bosques de México, ha sido muy escasa, ya que sólo en los estados de Chihuahua, Durango, México, Michoacán (Toledo, 1988) y Jalisco se han realizado estudios de esta naturaleza, aunque en un escala muy pequeña.

Con base en lo anterior, en la Sierra de Tapalpa, Jalisco, se aplicaron quemas prescritas con el objetivo de hacer una evaluación de sus efectos en algunas propiedades físicas y químicas del suelo. La hipótesis que se plantea es que la aplicación de fuego en bajas intensidades no afecta las propiedades físico-químicas de un suelo forestal.

REVISION DE LITERATURA

Definición de Quemas Prescritas.

Sánchez y Zerecero (1983) definieron a una quema controlada o quema prescrita, como la aplicación de fuego en un área determinada, en condiciones climáticas conocidas, para la consecución de uno o más objetivos en el manejo de los recursos forestales.

Las quemas controladas se han realizado desde principios de siglo (1920); en Estados Unidos se empezó a estudiar la utilidad del fuego controlado y sus efectos. Actualmente, en muchos países se practican las quemas controladas, destacan entre otros: Estados Unidos, Canadá, exUnión Soviética, España y algunos países africanos. En latinoamérica se realizan de manera operativa en Honduras, Venezuela, Chile y Nicaragua, principalmente (Hudson y Salazar, 1981). No obstante, en México no se han utilizado de manera generalizada, principalmente por el desconocimiento de sus efectos y de técnicas prácticas. En el país, la mayoría de las quemas controladas se han realizado a nivel experimental, tomando en consideración condiciones ambientales propicias para su ejecución, el comportamiento del fuego y la reducción de material combustible.

Quemas prescritas y efecto en el suelo.

A nivel mundial existen varios estudios que tratan sobre el efecto del fuego en el suelo en incendios forestales (Aguirre, 1981), pero en particular sobre las quemas controladas, las evaluaciones del efecto en el suelo se han desarrollado en Estados Unidos, principalmente.

El fuego afecta de manera significativa las propiedades de los suelos porque la materia orgánica de la superficie se quema rápidamente. Los cambios en esta materia orgánica afectan varias propiedades físicas y químicas del suelo; aunque algunos nutrientes se volatilizan y se pierden, la mayoría aumentan su disponibilidad para las plantas (DeBano, 1991).

El fuego actúa como un rápido agente mineralizador, ya que libera nutrientes de forma inmediata en contraste con los procesos normales de descomposición que pueden tardar años y en algunos casos décadas (DeBano, 1991). Aunque se tengan pérdidas en las

cantidades de algunos nutrimentos a través del fuego controlado, son insignificantes si se comparan éstas con otras pérdidas ocurridas con incendios descontrolados.

Las características físicas del suelo que son dependientes de la materia orgánica (estructura del suelo, espacios porosos), son afectadas por el calor durante el incendio (Scott y Burgy, 1956). Si el efecto del fuego se combina con la lluvia, se tienen otros efectos acumulativos que pueden observarse en la textura: arena, arcilla o limo (DeBano y Conrad, 1976).

El nitrógeno, fósforo y azufre son nutrimentos que a bajas temperaturas son rápidamente volatilizables (DeBano, 1991). El nitrógeno es un buen indicador de las pérdidas de nutrimentos por volatilización, porque es un nutrimento limitante para el crecimiento de las plantas en los ecosistemas forestales, como en chaparrales (Hellmen *et al.*, 1955), y además es el más fácilmente volátil durante el fuego (DeBano *et al.*, 1977; DeBano y Conrad, 1978).

La cantidad total de N volatilizable durante la combustión es directamente proporcional a la cantidad de materia orgánica consumida (Raison *et al.*, 1985). Esta relación puede no mantenerse a bajas temperaturas porque la materia orgánica, puede descomponerse sin la volatilización del N, por lo tanto en tales condiciones, la pérdida de N no es proporcional con la pérdida de materia orgánica (DeBano, 1991).

El N que no se volatiliza permanece estable en el sitio disponible como N amoniacal en el suelo. Por lo tanto, dependiendo de la severidad y duración del fuego, el N amoniacal puede incrementar, decrecer o mantener la misma concentración (DeBano, 1991). Cuando el suelo está húmedo durante la quema, el N amoniacal intercambiable se incrementa, pero no ocurre así en un suelo seco (DeBano *et al.*, 1977).

El pH también puede influenciar la disponibilidad del N. Por lo general, el N nítrico se localiza en suelos ácidos y el N amoniacal se presenta en suelos básicos o neutros (Gigon y Rorison, 1972). El fósforo responde diferente pero también puede tender a bajar en una quema controlada; cuando los combustibles son consumidos totalmente se

tiene una pérdida de 60% del fósforo (Raison *et al.*, 1985).

El calor del suelo durante un fuego afecta a los microorganismos responsables de la transformación del N en dos sentidos:

1. Si la temperatura el fuego es demasiado alta para ser letal, puede esterilizar al suelo y retrasar la amonificación y la subsecuente nitrificación hasta que el suelo sea nuevamente reinoculado. El proceso de nitrificación parece ser más sensible al disturbio y se recupera lentamente (DeBano, 1974).
2. Los microorganismos se favorecen por la producción de sustratos orgánicos en el humus y el suelo después del fuego. Con lo cual los microorganismos estimulan su crecimiento y se incrementan (Ahlgren, 1974).

El fuego afecta los microorganismos tan dramáticamente como sucede con el N del suelo (DeBano *et al.*, 1979), aunque los cambios que involucran a los microorganismos ocurren incluso a bajas temperaturas. La esterilización del suelo está muy relacionada con la intensidad del fuego, su duración y el contenido de agua en el mismo, ya que el agua modera el calentamiento del suelo. En un suelo húmedo existe menos pérdida de N, pero en bajas temperaturas y suelos húmedos no necesariamente se protegen los microorganismos del suelo (Dunn *et al.*, 1979).

En México, en una zona de bosque, se estudió el efecto del fuego en el suelo al aplicar quemas controladas en un rodal de *Pinus duranquensis* (Sánchez y Dieterich, 1983). En este trabajo se evaluó la disminución de los combustibles con quemas en otoño e invierno. Para evaluar el efecto de las quemas prescritas en el suelo, se consideraron los siguientes factores: 1) fósforo, 2) carbonato de calcio, 3) materia orgánica, 4) nNitrógeno, 5) pH, 6) color y 7) textura. Los autores concluyeron que las quemas controladas evaluadas no tuvieron efectos significativos en las propiedades físicas y químicas del suelo.

MATERIALES Y METODOS

El presente estudio se desarrolló en un rodal de la sierra de Tapalpa, Jalisco, cuyo

clima es templado subhúmedo denominado C (w1) (W) (i') g, con una topografía sumamente accidentada. La vegetación está formada por bosques de pino (*Pinus michoacana* Martínez), pino-encino y pino con otras hojosas (Benavides, 1987). La elección de esta área de estudio se debió a que reúne características deseables para la utilización de quemas controladas, como son: fácil acceso, límites naturales al avance del fuego (arroyo), arbolado con fustes sin ramas en las partes bajas, etc.

Diseño experimental. Se utilizó un diseño experimental completamente al azar. Los tratamientos correspondieron a tipo de quema (a favor y retroceso). Ya que no se contó con información previa de los parámetros a evaluar, no fue posible estimar el error estándar por unidad de cálculo del número de repeticiones necesarias. Sin embargo, de acuerdo con la homogeneidad de las condiciones del área de estudio (pendiente, vegetación, profundidad de materia orgánica, etc.), se consideró suficiente trabajar con tres repeticiones por tratamiento. También se tomaron en cuenta las limitaciones de seguridad requeridas para la aplicación de las quemas (vías de escape, brechas cortafuego, control de la velocidad de avance del fuego, etc.).

Parcelas experimentales. Para la aplicación de las quemas, así como para la ubicación de las áreas a muestrear, se trabajó con seis parcelas de 20 m de ancho por 30 m de largo. Cada parcela correspondió a una repetición de los tratamientos.

Tipos de quema. Se aplicaron dos tipos de quema. La primera se denomina "a favor" y la otra en "retroceso", las cuales van con relación a la dirección que tome el fuego respecto a la pendiente del terreno o a la dirección del viento. La diferencia básica entre estas dos técnicas es el comportamiento del fuego y la generación de calor en cada una de ellas. En la quema a favor de la pendiente o del viento, el fuego se desplaza más rápidamente que en la de retroceso, ya que tiene las condiciones favorables para un rápido desarrollo. De acuerdo con las condiciones del terreno esta proporción puede ser hasta de 10.

Epoca de quema. En esencia, las quemas prescritas pueden aplicarse en cualquier época del año, dependiendo de los objetivos, sin

embargo, éstas deben hacerse dentro de ciertas condiciones de seguridad (temperatura, humedad relativa, dirección y velocidad del viento). Las quemas se realizaron el 25 y 26 de marzo de 1991 (época de estiaje). Ambas quemas se realizaron a las 7:00 a.m., a fin de contar con condiciones de alta humedad relativa.

Obtención de las muestras de suelo. Una vez ubicadas y delimitadas las parcelas, dentro de cada una se establecieron pequeñas subparcelas de 3 x 3 m, dos por parcela. En éstas se marcaron los vértices con estacas, con el propósito de tener una referencia y tomar las muestras de suelo en los mismos lugares, antes y después de aplicar las quemas. Las muestras de suelo se tomaron con una barrena a una profundidad de 10 cm. Cada muestra se colocó en bolsas de plástico, con la identificación del número de parcela, el número de subparcela y el vértice correspondiente.

Análisis de suelos. Para la determinación de la textura se utilizó el hidrómetro. La materia orgánica se determinó por el método de Walkley-Black. Los nutrientes calcio, potasio magnesio, manganeso, fósforo, N nítrico y N amoniacal, se determinaron por el método de Morgan.

Análisis estadístico. Respecto al análisis estadístico de las muestras obtenidas y de acuerdo con un diseño experimental completamente al azar, se definieron dos tratamientos; uno, antes de la quema y otro, después de la quema, donde se analizaron por separado cada uno de los datos de nutrientes y las características físicas del suelo.

Posterior a este análisis, se realizó otro después de la quema, en el cual los tratamientos fueron quema a favor y quema en retroceso, con la finalidad de observar los efectos en el suelo.

RESULTADOS Y DISCUSION

Comportamiento del fuego. En el desarrollo de las quemas, el comportamiento del fuego tuvo variaciones considerables. En lo que respecta a las quemas en retroceso el comportamiento fue el siguiente: la velocidad de propagación del fuego fue de aproximadamente 24 m h^{-1} . El viento se presentó sólo en pequeñas rachas de 3 km h^{-1} . La altura promedio de la flama de

la quema fue de 0.5 m, lo cual representó una baja intensidad de calor.

La quema a favor resultó más intensa que la de retroceso, su velocidad de propagación fue casi diez veces mayor: 276 m h^{-1} , influida por un viento constante. La velocidad promedio del viento fue de 5.5 km h^{-1} . La altura de la flama alcanzó hasta 5 m, y en promedio fue de 1.5 m.

Cambios en el suelo. La respuesta del suelo a la aplicación de quemas controladas varió de acuerdo con el factor evaluado. En la Figura 1 se presentan los porcentajes en que se modificaron los niveles originales de cada factor. A continuación se señalan los cambios más relevantes que se presentaron.

Materia orgánica. La materia orgánica se vio afectada por el fuego, sin embargo, el incremento en ésta no fue estadísticamente significativo (Cuadro 1). En este caso hubo un ligero incremento en el porcentaje (Figura 1), el cual pudo deberse a las cenizas aportadas por el material combustible. De acuerdo con lo señalado por Wells *et al.* (1979), se esperaba una mayor aportación de materia orgánica, debido a la baja intensidad de las quemas.

Nutrientos. De acuerdo con DeBano (1976), Komarek (1967) y Spurr y Barnes (1982), uno

de los primeros cambios en el suelo, debido al efecto del fuego, es la pérdida de cantidades sustanciales de nutrientes importantes para las plantas. Sin embargo, las quemas prescritas practicadas en este trabajo tuvieron un ligero efecto en la mayoría de los nutrientes del suelo, tal vez por la baja intensidad de calor (retroceso) y la rapidez (Cuadro 1) (a favor) con que ocurrieron.

Con relación al fósforo, el fuego tuvo en promedio el mismo efecto, tanto en las parcelas con quemas a favor, como en aquellas con quemas en retroceso. En ambos casos hubo una disminución de los niveles de este elemento (Cuadro 1). Esto concuerda con lo publicado por Vlamis y Gowans, y White *et al.* (Citados por Wells *et al.*, 1979), y con los resultados de Sánchez y Dieterich (1983) para quemas en otoño. Sin embargo, con base en el Cuadro 1, los cambios correspondientes a las quemas a favor tuvieron una significancia estadística a 5%. Esto probablemente se debió a que se requieren intensidades de calor moderadas (quemas a favor) para afectar el contenido de este elemento (DeBano, 1991).

El nitrógeno es el elemento más sensible a los cambios causados por el fuego, sin embargo, la respuesta no siempre es la misma ya que ésta depende de la intensidad del fuego y su duración, y de si el suelo está seco o húmedo (DeBano *et al.*, 1977). En referencia a

Cuadro 1. Cambios en un suelo forestal debido al efecto del fuego en quemas prescritas y la significancia estadística.

| Características | Antes de quema | | Después de quema | | Sig. Est. en % | |
|-----------------------------|----------------|---------|------------------|---------|----------------|---------|
| | Retroceso | A favor | Retroceso | A favor | Retroceso | A favor |
| Arena % | 41.4 | 54.1 | 30.2 | 29.9 | 0.7 | 0.1 |
| Arcilla % | 28.9 | 7.0 | 36.8 | 39.5 | 0.3 | 0.1 |
| Limo % | 29.6 | 36.1 | 32.3 | 30.6 | 28.0 | 0.2 |
| M.O. % | 6.9 | 6.0 | 7.5 | 7.5 | 97.9 | 10.2 |
| Calcio kg ha^{-1} | 500 | 840 | 840 | 1100 | 17.0 | 59.5 |
| Potasio kg ha^{-1} | 170 | 440 | 170 | 330 | 59.3 | 0.4 |
| Magnesio ppm | 12 | 12 | 12 | 12 | z | 37.6 |
| Manganeso ppm | 5 | 5 | 5 | 5 | z | z |
| Fósforo ppm | 25 | 25 | 12 | 12 | 1.7 | 2.3 |
| N nítrico ppm | 3 | 6 | 3 | 3 | z | 4.9 |
| amoniaco ppm | 12 | 12 | 12 | 12 | z | 20.4 |
| pH | 6.2 | 6.8 | 6.3 | 6.5 | 62.8 | 13.2 |

z No hubo cambios.

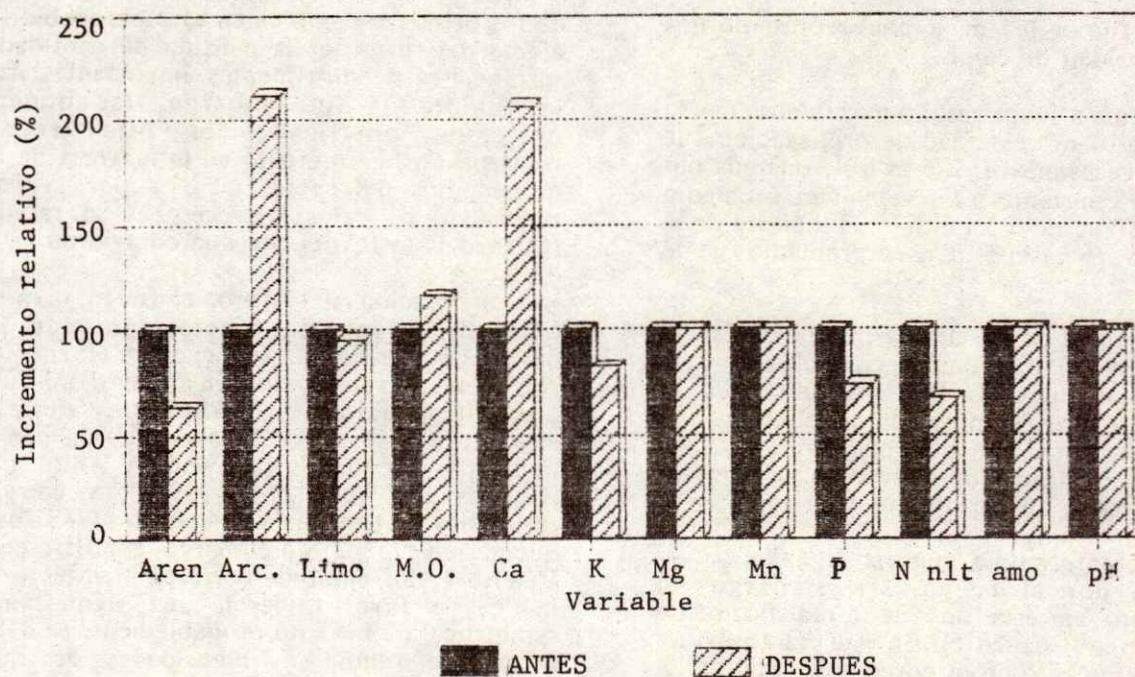


Figura 1. Efecto del fuego en los factores evaluados del suelo.

los resultados obtenidos de este elemento en las quemas, el N nítrico se mantuvo constante en las parcelas correspondientes al tratamiento de quemas en retroceso. Sin embargo, existió una disminución estadísticamente significativa en las parcelas de quemas a favor. También el N amoniacal presentó pérdida pero no fue significativa (Cuadro 1). Tryon (Citado por Wells *et al.*, 1979) señala que el efecto del fuego en los nutrimentos es más grande en suelos arenosos que en los arcillosos, tal es el caso de los suelos estudiados (Gómez y Chávez, 1984).

El calcio manifestó un ligero incremento para los dos tipos de quema (Figura 1), lo cual probablemente sea resultado directo de la combustión de las trozas, ramas y hojarasca (Wells *et al.*, 1979). Este incremento fue significativo estadísticamente solo en las parcelas con quema en retroceso (Cuadro 1). Se esperaba que este aumento de calcio pudiera influir en el pH del suelo, sin embargo, éste permaneció sin cambios significativos (Cuadro 1). Para que el calcio (resultante de una quema) se incorpore al suelo sólo se requiere de la presencia de humedad.

El potasio manifestó una reducción después de la quema (Figura 1), lo cual está relacionado con lo publicado por Wells *et al.* (1979). Esta reducción sólo fue estadísticamente significativa para las parcelas con quemas a favor (Cuadro 1). La diferencia en la respuesta, entre los dos tipos de quema, se debió a que en las quemas a favor el calor generado fue más intenso que en las quemas en retroceso, en una proporción de 1:5 (de acuerdo con la altura de las flamas generadas en cada caso). Son necesarios estudios más específicos para corroborar esto último.

Los niveles de magnesio y manganeso en el suelo permanecieron inalterables, lo cual concuerda con Scotter y Christensen (citados por Wells *et al.*, 1979), ya que estos elementos son los más estables porque sólo son afectados a temperaturas mayores de 1000°C (DeBano, 1991).

En cuanto a las condiciones físicas del suelo, las quemas prescritas no las afectaron directamente. El efecto fue indirecto, ya que al descubrirse la superficie, el suelo se expuso a la erosión por lluvia. El arrastre

de suelo, debido a la lluvia, alteró los porcentajes de las fracciones que dan origen a la texturas (DeBano y Conrad, 1976). Para futuras aplicaciones de quemas prescritas, debe tomarse en cuenta el efecto que pueden causar las lluvias en las pérdidas de nutrimentos. Algunas investigaciones han comprobado que éstas son insignificantes si se comparan con las causadas por los incendios (DeBano y Conrad, 1976). Por tal razón, la época de aplicación de la quema resulta de gran importancia.

Textura. Antes de analizar los efectos en la textura, es importante considerar que Wells *et al.* (1979), señalaron que la mayoría de los estudios indican que el fuego necesita ser muy intenso para provocar efectos directos en la estructura del suelo. Sin embargo, si el fuego es severo puede remover la capa de mantillo, dejando el suelo mineral expuesto a la erosión.

El cambio más notable en la textura fue la reducción del porcentaje de arena (Figura 1), el cual fue más marcado en las parcelas con quema a favor (Cuadro 1). Esta reducción fue significativa para ambos tipos de quema (Cuadro 1). Como consecuencia de lo anterior, los niveles de arcilla se incrementaron (Figura 1), efecto más marcado en las parcelas con quemas a favor (Cuadro 1). Por último, aunque el porcentaje de limo disminuyó (Figura 1), esto sólo fue estadísticamente significativo para las parcelas con quemas a favor (Cuadro 1).

pH. Aunque hubo un aumento en los niveles de pH (Figura 1), de acuerdo con el Cuadro 1, éste permaneció prácticamente igual antes y después, para los dos tipos de quema. Esto se relaciona con lo publicado por Sánchez y Dieterich (1983).

CONCLUSIONES

1. Las quemas prescritas no tuvieron efectos significativos en la mayoría de los nutrimentos; sin embargo, es importante considerar que algunos elementos (Potasio) son afectados por el fuego, si la intensidad es de moderada a fuerte, como ocurre con las quemas a favor. El contenido de nitrógeno y fósforo sufrieron cambios, sin se afectar la fertilidad del suelo. El contenido de N nítrico sólo se vió levemente afectado en la quema a favor.

En contraparte, el suelo recibió aportes de calcio como resultado de las cenizas producidas por las quemas. Respecto a esto último, son necesarios estudios específicos que evalúen el efecto del aumento de calcio en la vegetación, los microorganismos del suelo, las micorrizas, etc.

2. Respecto a los contenidos de materia orgánica, éstos se afectaron por las quemas prescritas. Aunque hubo un ligero aumento en su porcentaje, éste no fue significativo. Aquí también debe considerarse el efecto de las lluvias, la cuales lavaron parte de la materia orgánica aportada en las cenizas de los residuos.
3. Los cambios más notables se observaron en las quemas a favor, las cuales, conforme con la altura de las llamas generadas, se consideraron más intensas que las quemas en retroceso.
4. El contenido de arcilla y de calcio en el suelo fueron las variables que presentaron mayor variación.
5. De acuerdo con los resultados del presente estudio, se deducen dos fuentes de variación en las condiciones físico-químicas analizadas. La primera, objeto de este estudio, fue el fuego y la segunda fue la lluvia. Aunque para aportar resultados concluyentes para esta última, es necesario evaluar su efecto en combinación con el fuego y con muestreos periódicos, sobre todo para analizar nutrimentos y textura del suelo.
6. Debido a que se consideró que la lluvia tuvo repercusiones en los resultados del presente trabajo. Se sugiere la aplicación de quemas y la evaluación de sus efectos en diferentes épocas del año. Esto permitirá evaluar más específicamente el efecto de las quemas, sin la influencia de otros factores.

LITERATURA CITADA

- AGUIRRE, B. 1981. Efecto del fuego en algunas propiedades físicas de suelos forestales. Universidad Autónoma Chapingo. Departamento de Enseñanza, Investigación y Servicio en Bosques. Publicación Especial. Chapingo, México.
- AHLGREN, I.F. 1974. The effect of fire on soil organisms. Fire and ecosystems. Academic Press, New York.

- BENAVIDES S., J. DE D. 1987. Estimación de la calidad de sitio mediante índices de sitio del Pinus michoacana cornuta Martínez y Pinus oocarpa Shiede, para el A.D.F. Tapalpa, Estado de Jalisco. Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma Chapingo. División de Ciencias Forestales. Chapingo, México.
- DeBANO, L.F. 1974. Chaparral soils. pp. 19-26. In: Symposium on living with the chaparral. University of California. Riverside.
- DeBANO, L.F., and C.E. CONRAD. 1976. Nutrients lost in debris and runoff water from a burned chaparral watershed. pp. 3-27. In: Proceedings of the Third Fed. Inter-Agency Sedimentation Conference, March, Denver CO. Conf. Washington, DC. U.S.A. Water Resource Council.
- DeBANO, L.F., P.H. DUNN, and C.E. CONRAD. 1977. Fire's effect on physical and chemical properties of chaparral soils. pp. 65-74. In: Proceedings of the Symposium on the Environmental Consequences of fire and Fuel Management in Mediterranean Ecosystems. General Technical Report WO-3. Washington D.C.: U.S. Department of Agriculture, Forest Service.
- DeBANO, L.F., and C.E. CONRAD. 1978. The effect of fire on nutrients in a chaparral ecosystem. Ecology 59: 489-497.
- DeBANO, L.F. 1991. The effect of fire on soil properties. pp. 151-156. In: Proceedings-management and productivity of Western Montane Forest Soils. Forest Service. Intermountain Research Station. General Technical Report INT-280. Odgen, U.T.
- DUNN, P.H., L.F. DeBANO, and G.E. EBERLEIN. 1979. Effects of burning on chaparral soils: II. Soil microbes and nitrogen mineralization. Soil Sci. Soc. Am. J. 43: 509-514.
- GIGON, A., and I.H. RORISON. 1972. The response of some ecologically distinct plant species to nitrate and ammonium-nitrogen. J. Ecology 60: 93-102.
- GOMEZ T., A. y H. CHAVEZ Y. 1984. Aplicación de criterios de agrología forestal al estudio de los suelos de los bosques de la zona oeste de Tapalpa, Jalisco. Ciencia Forestal No. 9 Vol. II. México, D.F.
- HUDSON, J. y M. SALAZAR. 1981. Las quemadas prescritas en los pinares de Honduras. Escuela Nacional de Ciencias Forestales. Serie Miscelanea No. 1. Siguatepeque, Honduras.
- KOMAREK, E.U. 1967. Fire and ecology of man. Proc. Tall. Timbers Fire. Ecology conference No. 6. Tallahassee. Florida, U.S.A.
- RAISON, R.J., P.K. KHANNA, and P.V. WOODS. 1985. Mechanisms of element transfer to the atmosphere during vegetation fires. Canadian Journal of Forest Research. 15: 132-140.
- SANCHEZ C., J. y H. DIETERICH J. 1983. Efecto de quemadas controladas en Pinus duranquensis en Madera, Chihuahua. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales. Nota Técnica No. 9. PR-05. Centro de Investigaciones Forestales del Norte. Chihuahua, México.
- SANCHEZ C., J. y G. ZERECERO L. 1983. Método práctico para calcular la cantidad de combustibles leñosos y hojarasca. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales. Nota divulgativa No. 9. CIFONOR.
- SCOTT, V.H., and R.H. BURG. 1956. Effects of heat and brush burning on the physical properties of certain upland soils that influence infiltration. Soil Sci. 82: 63-70.
- SPURR, H. y B. BARNES. 1982. Ecología forestal. AGT. México, D.F.
- TOLEDO M., R. 1988. Niveles de riesgo en incendios forestales (Inedito).
- WELLS, C.G., R.E. CAMPBELL, L.F. DeBANO, C.E. LEWIS, R.L. FREDRISSEN, E.C. FRANKLIN, R.C. FROELICH, and P.H. DUNN. 1979. Effects of fire on soil: A state-of-knowledge review. U.S.D.A. Forest Service. General Technical Report WO-7. Washington, DC. U.S.A.

CONTAMINACION POR METALES PESADOS EN AGUAS RESIDUALES DE PACHUCA, TIZAYUCA Y CIUDAD SAHAGUN EN HIDAGO, MEXICO

Heavy Metal Pollution in Waste Water of Pachuca, Tizayuca and Ciudad Sahagun in Hidalgo, Mexico

Teodoro Méndez García, Leticia Guevara Deloya y Rafael Huizar Alvarez

Instituto de Geología, U.N.A.M., Ciudad Universitaria, México, D.F.

Palabras clave: Aguas residuales, Metales pesados.

Index words: Wastewaters, Heavy metals.

RESUMEN

Se realizó un registro consistente en la colecta trimestral de 15 muestras de agua residual durante un año. Los sitios de muestreo fueron: 1) el río De las Avenidas y el Colector Central, y 2) drenajes primarios y secundarios de Tizayuca y Ciudad Sahagún, Edo. de Hidalgo.

El análisis químico de las muestras de agua indicó que, en la mayoría de los sitios muestreados, las aguas son alcalinas, con valores de pH que fluctúan de 7.40 a 8.70, y la conductividad eléctrica (C.E.) reveló, también, que se trata de aguas con alto contenido de sales, como ocurre en el Colector Central, río De las Avenidas (a la altura de los jales) y en Tizayuca. En estos sitios se detectaron los valores máximos de C.E. (1815, 1305 y 3470 micromho, respectivamente), los cuales rebasan los 1000 micromho establecidos como límite máximo aceptable por el Criterio Ecológico de Calidad Agrícola del Agua de

SEDUE (CE-CCA-001/89) para aguas normales de uso agrícola.

Las cantidades de P, B, NO_3^- y NO_2^- se encuentran por debajo de los límites recomendados por el CE-CCA-001/89.

La concentración de metales pesados solubles detectados, en orden decreciente, fue: Fe, Mn, Zn, Pb, Cu, Ni, Co, Cr y Cd, con valores promedio de 0.469, 0.146, 0.131, 0.113, 0.063, 0.029, 0.015, 0.013 y 0.003 ppm, respectivamente; estas cantidades son inferiores a los niveles máximos permisibles por el CE-CCA-001/89 para aguas residuales destinadas a uso agrícola. Sin embargo, cabe destacar que las concentraciones de Cu en el río De las Avenidas, a la salida de Pachuca y la zona industrial de Tizayuca, se encontraron justo en el límite máximo establecido por el CE-CCA-001/89.

SUMMARY

A survey was conducted by means of a quarterly collection - 15 waste water samples each time - during a year. Sampling location were: 1) Avenidas River, and Central Collector; and 2) Tizayuca and Ciudad Sahagun primary and secondary drainage system, State of Hidalgo, Mexico.

Recibido 11-92.

The chemical analysis indicated that in the majority of water samples the pH ranged from 7.4 to 8.70.

Electrical conductivity (E.C.) also showed salinity problems in Central Collector, Avenidas River close to old mines and Tizayuca. In these places, electrical conductivity maximum values (1815, 1305 and 3470 $\mu\text{mhos cm}^{-1}$, respectively) exceeded 1000 $\mu\text{mhos cm}^{-1}$, the maximum level accepted (CE-CCA-001/89) in waters for normal agricultural use. In contrast P, B, NO_3^- and NO_2^- levels were below the accepted limits (CE-CCA-001/89).

The concentrations of soluble heavy metals detected in waste water Hidalgo, Mexico, were in decreasing order: Fe, Mn, Zn, Pb, Cu, Ni, Cr, and Cd with values of 0.469, 0.146, 0.131, 0.113, 0.063, 0.029, 0.015, 0.013, and 0.03 ppm, respectively. These figures were lower than approved maximum levels (CE-CCA-001/89) for waste water used in agriculture. Nevertheless, it must be emphasized that Cu concentrations in Avenidas River, at Pachuca suburbs and the industrial area of Tizayuca were just in the maximum level (CE-CCA-001/89).

INTRODUCCION

Debido a que la disponibilidad de agua blanca para riego agrícola en México es insuficiente, se ha recurrido al uso de las aguas residuales para este fin, tal es el caso de los municipios de Pachuca, Mineral de la Reforma, Tizayuca y Ciudad Sahagún, en donde se emplean las aguas residuales sin ningún tratamiento en la agricultura y sin contemplar las consecuencias que su uso provoca en el suelo. Esto es más crítico en la zona de Tizayuca y las áreas cercanas a Pachuca, en las cuales las concentraciones de metales pesados son considerables (Flores, 1993; Huizar, 1993) y afectan el sistema natural agua-suelo-planta (Méndez, 1982; Méndez *et al.*, 1991). Por tal motivo, este trabajo tuvo como objetivo fundamental evaluar los contenidos de metales pesados en las aguas residuales de las ciudades de Pachuca, Tizayuca y Sahagún, Hgo.; así como su caracterización con fines agrícolas.

Los principales problemas de contaminación de suelos por metales pesados por el uso de aguas residuales, se han acentuado en el estado de Hidalgo (Valle del Mezquital), en

donde se emplean las aguas residuales de la zona metropolitana de la Ciudad de México (Méndez y Guajardo, 1985). Sin embargo, de acuerdo con García (1990), a nivel nacional la superficie actual regada con aguas residuales es de 156 000 ha, para lo cual se utilizan aproximadamente $51 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$, generados por las descargas de unas 30 ciudades con más de 100 000 habitantes cada una. Entre estas ciudades se encuentra Pachuca, que desecha aproximadamente unos 700 litros de aguas por segundo, las cuales se drenan mediante el Colector Principal y el río De las Avenidas, y posteriormente se emplean en el riego de más de 1500 ha en los municipios de Pachuca y Mineral de la Reforma (0.04% de la superficie agrícola de la cuenca del río De las Avenidas). El agua de pozo únicamente se emplea en el riego de 0.006% del área agrícola de la cuenca, por lo que es evidente que en el área de estudio la agricultura es principalmente de temporal, con rendimientos muy bajos (C.A.D.R. Pachuca, Hgo., 1992; Huizar, 1993).

Las aguas residuales de la ciudad de Pachuca se han utilizado en la agricultura desde 1930. Por su escaso volumen, en las zonas más alejadas sólo se utilizan en la aplicación de riegos de auxilio; en las zonas cercanas a Pachuca el riego es continuo, y la producción se ha incrementado por las altas concentraciones de materia orgánica, nitrógeno, fósforo, potasio y otros nutrimentos presentes en el agua (C.A.D.R. Pachuca, Hgo., 1992).

METODOLOGIA

Para este trabajo se realizaron cuatro muestreos simples de aguas residuales de las ciudades de Pachuca, Tizayuca y Sahagún, Hgo., en enero, abril, julio y octubre de 1991, en los 15 sitios que se indican en la Figura 1.

Las muestras obtenidas para los análisis químicos se mantuvieron en refrigeración, mientras que para metales pesados se acidificaron a pH 2 con HNO_3 como conservador, posteriormente se realizaron los siguientes análisis: pH y conductividad eléctrica (CE) *in situ*, (Richards, 1973); Ca^{2+} y Mg^{2+} por titulación con EDTA 0.01 N, y Na^+ y K^+ por flamometría (Jackson, 1966); CO_3^{2-} y HCO_3^- por titulación con H_2SO_4 0.01 N, con fenolftaleína y anaranjado de metilo como

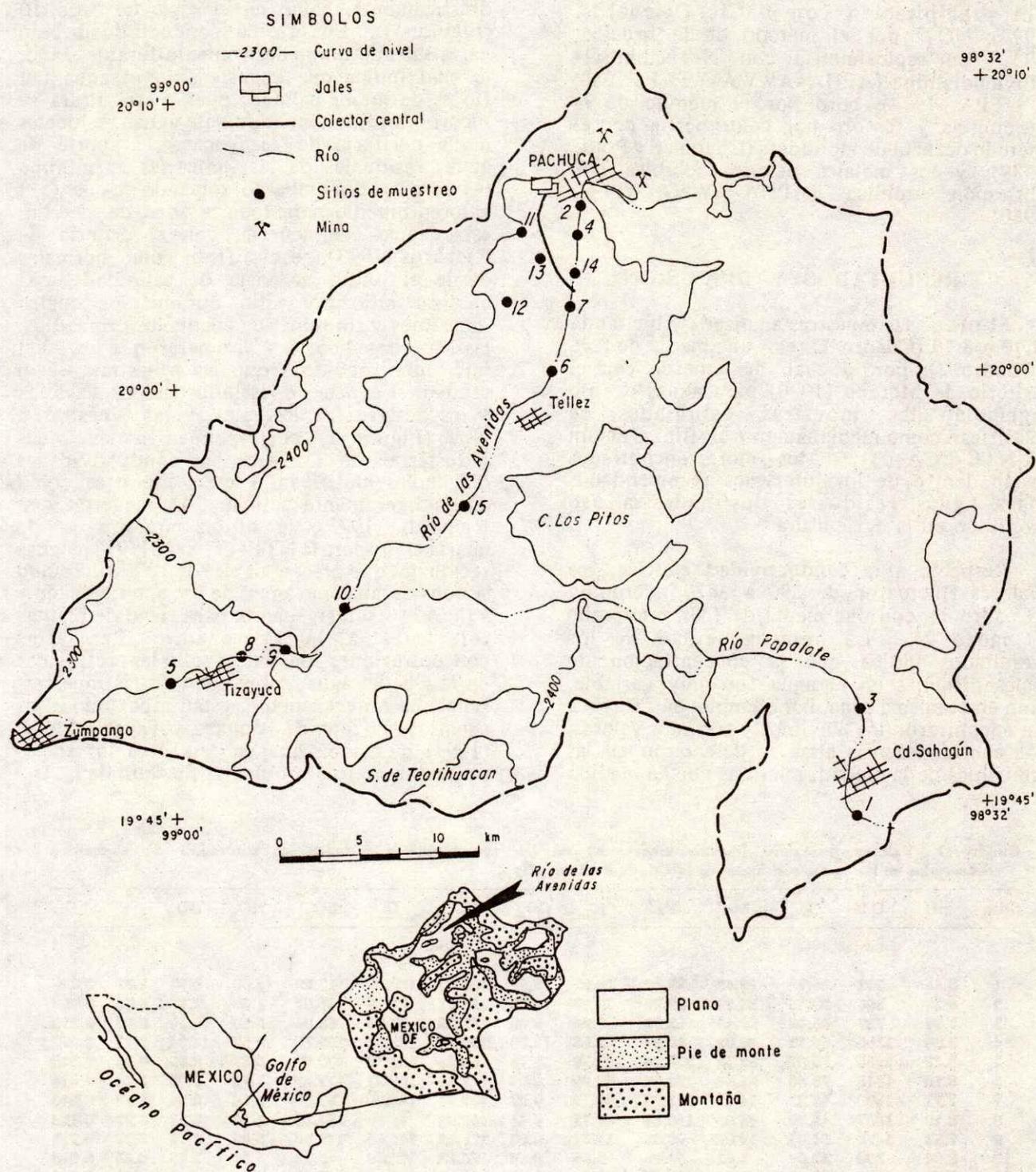


Figura 1. Localización de la zona de estudio y sitios de muestreo.

indicadores, respectivamente (Richards, 1973); Cl^- por titulación con AgNO_3 0.005 N; SO_4^{2-} por precipitación con BaCl_2 (Richards, 1994); NO_3^- por el método de la brucina; NO_2^- por colorimetría con N-1Naphthyl-ethylendiamine (APHA-AWWA-WPCF, 1980; US-EPA, 1974); boro por el método de la curcumina y fósforo por colorimetría por el método del azul de molibdato (Chapman y Pratt, 1989); y los metales pesados solubles por absorción atómica (APHA-AWWA-WPFC, 1980).

RESULTADOS Y DISCUSION

El pH de las muestras analizadas fluctuó de 7.70 a 8.70 (Cuadro 1), con una media de 8.08 (Cuadro 2), por lo cual, de acuerdo con el criterio de Moreno (1970) para aguas de uso agrícola, las muestras estudiadas se clasifican como medianamente alcalinas. Según la NTE-CCA-031/91, los valores encontrados están dentro de los intervalos recomendados para aguas residuales destinadas a uso continuo en la agricultura.

Respecto a la conductividad eléctrica, los valores fluctuaron de 390 a 3470 micromho (Cuadro 1), con una media de 1374 micromho (Cuadro 2). La heterogeneidad de los resultados indica que la concentración de sales disueltas en el agua fue muy variable, aun en la misma zona. Por ejemplo, en Tizayuca se encontraron los máximos y mínimos valores; las cantidades más altas se detectaron en las cercanías de la ciudad, mientras que ha medida

que los sitios de muestreo se alejaban de Tizayuca, los valores de CE disminuyeron drásticamente, como en el caso del Sitio 10 (Figura 1). En éste la conductividad bajó hasta 390 micromho de promedio durante el año, lo cual indica que en este sitio el agua del río es de mejor calidad, pues a esta altura se incorporan fundamentalmente aguas residuales de la periferia de Tizayuca y el aporte de aguas residuales de las industrias es mínimo (Cuadro 1). Sin embargo, tomando en cuenta el valor promedio para toda la zona de estudio, estas aguas, de acuerdo con el criterio de Richards (1993), se clasifican como normales desde el punto de vista de salinidad. Al analizar sitio por sitio durante los cuatro muestreos y sin tomar en cuenta los promedios, las Muestras 4, 5, 6 y 9 superaron a los 2000 micromho, debido a que las Muestras 4 y 6 reciben el aporte de las industrias de Pachuca y los deslaves de los jales, y las Muestras 5 y 9 (Figura 1) corresponden a las zonas industriales de Tizayuca; las conductividades detectadas clasifican a estas muestras como aguas ligeramente salinas. De acuerdo con Richards (1973), la última muestra es de cuarta clase; para la NTE-CCA-031/91 las aguas residuales que presentan más de 1000 micromho se consideran como aguas de uso condicionado y su uso es exclusivamente para riego de plantas tolerantes a la salinidad. Las altas concentraciones de sales solubles reflejadas en la CE del agua, sobre todo en las muestras señaladas anteriormente, están afectando a los suelos de la zona de Pachuca y Téllez. Flores (1993) menciona que en esta área los suelos presentan ciertos problemas de salinidad.

Cuadro 1. Valores promedio (cuatro muestreos) de las características químicas y contenido de elementos detectados en las aguas residuales de la Cd. de Pachuca, Hgo.

| Sitio | pH | C.E. | mbos | | | | | | | | | | | |
|-------|------|------|------------------|------------------|---------------|--------------|--------------------|------------------|---------------|--------------------|-----------------|-----------------|------|-------|
| | | | Co^{2+} | Mg^{2+} | Na^+ | K^+ | CO_3^{2-} | HCO_3^- | Cl^- | SO_4^{2-} | NO_3^- | NO_2^- | P | B |
| | | | ppm | | | | | | | | | | | |
| 1 | 8.25 | 592 | 35.71 | 13.42 | 55.80 | 30.69 | 3.33 | 200.62 | 100.98 | 12.29 | 8.00 | 0.58 | 5.37 | 0.025 |
| 2 | 8.30 | 535 | 30.15 | 26.30 | 55.90 | 19.95 | 18.00 | 213.87 | 91.95 | 37.01 | 1.69 | 2.37 | 5.65 | 0.050 |
| 3 | 7.95 | 727 | 86.48 | 19.49 | 58.99 | 6.94 | 0.00 | 187.06 | 67.50 | 63.04 | 3.80 | 0.00 | 0.66 | 0.030 |
| 4 | 8.30 | 1305 | 68.13 | 30.02 | 98.98 | 23.53 | 18.00 | 309.73 | 130.52 | 98.78 | 0.57 | 14.04 | 7.11 | 0.057 |
| 5 | 8.25 | 2985 | 70.67 | 52.10 | 307.24 | 197.79 | 17.76 | 650.66 | 234.30 | 205.62 | 3.87 | 0.89 | 6.25 | 0.330 |
| 6 | 8.10 | 1815 | 78.60 | 32.64 | 174.50 | 32.99 | 0.00 | 472.66 | 168.91 | 127.49 | 1.72 | 0.05 | 2.72 | 0.015 |
| 7 | 7.77 | 1500 | 62.33 | 34.21 | 127.33 | 30.12 | 0.00 | 409.98 | 148.90 | 59.57 | 2.64 | 0.04 | 5.16 | 0.040 |
| 8 | 8.20 | 1867 | 43.39 | 45.83 | 149.84 | 32.72 | 4.44 | 469.92 | 98.80 | 154.80 | 1.36 | 9.68 | 5.97 | 0.123 |
| 9 | 7.53 | 3470 | 34.05 | 19.03 | 46.82 | 14.31 | 0.00 | 275.62 | 145.55 | 114.96 | 3.00 | 8.75 | 3.77 | 0.220 |
| 10 | 8.00 | 390 | 23.04 | 5.62 | 51.98 | 6.57 | 0.00 | 176.22 | 106.50 | 8.16 | 3.32 | 3.70 | 0.45 | 0.040 |
| 11 | 8.30 | 1133 | 67.15 | 32.42 | 99.99 | 30.04 | 0.00 | 388.58 | 168.03 | 142.95 | 5.89 | 14.13 | 2.91 | 0.043 |
| 12 | 8.70 | 930 | 36.00 | 34.56 | 109.00 | 28.39 | 0.00 | 338.88 | 127.80 | 45.24 | 0.52 | 0.07 | 8.90 | 0.010 |
| 13 | 7.40 | 1250 | 74.80 | 105.22 | 11.96 | 27.18 | 0.00 | 338.88 | 106.50 | 374.25 | 18.88 | 0.03 | 0.07 | 0.040 |
| 14 | 7.70 | 1050 | 49.92 | 34.85 | 106.00 | 204.59 | 0.00 | 345.66 | 168.63 | 80.88 | 5.32 | 0.46 | 5.20 | 0.210 |
| 15 | 8.40 | 850 | 49.92 | 28.37 | 117.00 | 20.98 | 0.00 | 325.33 | 131.35 | 69.84 | 0.80 | 0.10 | 5.70 | 0.150 |

Continuación Cuadro 1.

| Fe | Cu | Mn | Zn | Cr | Pb | Cd | Co | Ni |
|-----------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| ----- ppm ----- | | | | | | | | |
| 1.2928 | 0.0812 | 0.2946 | 0.0689 | 0.0158 | 0.0623 | 0.0015 | 0.0203 | 0.0411 |
| 1.1146 | 0.0297 | 0.0964 | 0.1375 | 0.0175 | 0.0623 | 0.0017 | 0.0079 | 0.0321 |
| 0.1549 | 0.0148 | 0.1458 | 0.2214 | 0.0108 | 0.1366 | 0.0029 | 0.0113 | 0.0114 |
| 0.2975 | 0.0271 | 0.1379 | 0.1380 | 0.0068 | 0.1248 | 0.0033 | 0.0158 | 0.0228 |
| 0.5916 | 0.1073 | 0.2364 | 0.2625 | 0.0117 | 0.0790 | 0.0089 | 0.0146 | 0.0502 |
| 0.0068 | 0.0068 | 0.0023 | 0.0454 | 0.0025 | 0.0247 | 0.0017 | 0.0376 | 0.0274 |
| 0.4814 | 0.1650 | 0.1279 | 0.1440 | 0.0375 | 0.1607 | 0.0020 | 0.0197 | 0.0651 |
| 0.3333 | 0.0228 | 0.0413 | 0.1649 | 0.0068 | 0.2076 | 0.0043 | 0.0125 | 0.0228 |
| 0.3496 | 0.0200 | 0.0223 | 0.0710 | 0.0041 | 0.0502 | 0.0019 | 0.0149 | 0.0114 |
| 0.0735 | 0.0103 | 0.0068 | 0.0835 | 0.0025 | 0.0248 | 0.0006 | 0.0033 | 0.0068 |
| 0.3082 | 0.0525 | 0.2140 | 0.0910 | 0.0258 | 0.0622 | 0.0017 | 0.0124 | 0.0342 |
| 0.2719 | 0.0377 | 0.0557 | 0.1249 | 0.0050 | 0.0617 | 0.0017 | 0.0150 | 0.0205 |
| 0.2057 | 0.1986 | 0.4375 | 0.1700 | 0.0100 | 0.3418 | 0.0029 | 0.0124 | 0.0205 |
| 0.4125 | 0.0856 | 0.0716 | 0.1250 | 0.1500 | 0.0494 | 0.0012 | 0.0075 | 0.0342 |
| 0.1469 | 0.1473 | 0.3011 | 0.1167 | 0.0075 | 0.2467 | 0.0017 | 0.0120 | 0.0342 |

Los contenidos de cationes de Ca, Mg, Na y K fluctuaron de 23.04 a 86.48; 5.62 a 105.22; 11.96 a 307.24; y de 6.57 a 204.59 ppm, (Cuadro 1), con valores promedio de 58.63, 32.94, 113.44 y 51.81 ppm respectivamente (Cuadro 2). De acuerdo con el CE-CCA-001/89 para aguas con fines agrícolas, los valores promedio de Na^+ y K^+ de las aguas residuales de la ciudad de Pachuca, Hgo. se encuentran dentro de los límites establecidos por SEDUE (Cuadro 2), a excepción de la Muestra 5 que se encontró excedida en sodio en los cuatro muestreos, lo cual coincide con Huizar (1993) que menciona concentraciones de hasta 328 ppm de sodio para aguas de pozo en la zona de Tizayuca. Respecto al Ca^{2+} y Mg^{2+} , estos cationes se detectaron en concentraciones promedio de 58.63 y 32.94 ppm, respectivamente (Cuadro 2), estos elementos no son sancionados por SEDUE para aguas usadas en el riego agrícola, ya que la presencia de estos cationes en las aguas residuales contraresta los efectos del sodio, pues al incorporarse al suelo desplazan al sodio de los sitios de intercambio y disminuyen los peligros de sodicidad.

Los contenidos de CO_3^{2-} , HCO_3^- , Cl^- y SO_4^{2-} fueron del orden de 0.00 a 18.0; 176.22 a 650.66; 67.50 a 234.30, y de 8.16 a 374.25 ppm (Cuadro 1), con promedios de 4.10, 340.24, 139.76 y 106.32 ppm, respectivamente (Cuadro 2). Las concentraciones de HCO_3^- sobrepasaron los niveles establecidos por el CE-CCA-001/89 en todos los sitios, inclusive el valor promedio (340.24) superó en más de tres veces

las 100 ppm recomendadas por dicho criterio. Por otro lado, aunque el valor promedio de los Cl^- (Cuadro 2) no superó las 147.5 ppm tolerables, de acuerdo con el criterio, éstas se encontraron cercanas al límite; además los Sitios 5, 6, 7, 11 y 14, ubicados en Tizayuca y en las cercanías de Pachuca, rebasaron los límites máximos establecidos (Cuadros 1 y 2). Respecto a los sulfatos, aunque el valor promedio (106.32 ppm) fue inferior al límite establecido por SEDUE (Cuadro 2), cabe destacar que, al igual que los cloruros, se encuentran excedidos en los Sitios 5, 8, 11 y 13 (Cuadros 1 y 2). En general, las concentraciones de HCO_3^- , Cl^- y SO_4^{2-} en las aguas residuales empleadas en el riego agrícola en los municipios de Pachuca, Tléllez y Tizayuca, están afectando a los suelos de la zona, sobre todo en las partes bajas, donde se acumulan las sales provenientes tanto de las aguas residuales, como de los deslaves de los jales. Flores (1993) ha señalado hasta 25.0, 9.6 y 9.0 meq L^{-1} de SO_4^{2-} , HCO_3^- y Cl^- , respectivamente, para los suelos de esta zona.

El boro varió de 0.010 a 0.330 ppm con una media de 0.092 ppm, estas concentraciones son menores a los niveles recomendados por el CE-CCA-001/89 (Cuadro 3), sin embargo, el boro es un elemento peligroso para las plantas por su toxicidad, ya que éstas, de acuerdo con Devlin (1989), lo requieren en pequeñas cantidades. Por esta razón las aguas de riego que contienen más de 0.5 ppm de boro pueden provocar problemas serios en los cultivos sensibles a este elemento, por lo tanto las

concentraciones de B deben tomarse en cuenta, sobre todo si se trata de aguas residuales.

El P, NO_3^- y NO_2^- variaron de 0.07 a 8.90; 0.52 a 18.88 y de 0.00 a 14.13 ppm (Cuadro 1), con promedio de 4.39, 4.09 y 3.66 ppm, respectivamente (Cuadro 2); estos valores están dentro de los niveles recomendados por el CE-CCA-001/89 para agua residual con fines agrícolas (Cuadro 3). A excepción de los NO_2^- que son tóxicos para las plantas, el aporte de fósforo y nitrógeno al suelo aumentan en gran medida su fertilidad, como ha ocurrido en el D.D.R. 063, donde, de acuerdo con Méndez (1982) y Méndez *et al.* (1991), se han registrado niveles altos de estos elementos a consecuencia del empleo de las aguas residuales en la agricultura.

Respecto a los NO_2^- , en México su concentración no se sanciona; sin embargo, la OMS (1982) recomienda hasta 0.1 ppm de nitritos en el agua potable. Aunque en este trabajo se analiza el uso agrícola de ésta, las concentraciones de NO_2^- fueron considerables, sobre todo en los Sitios 11, 4, 8 y 9, con cantidades promedio de 14.13,

14.04, 9.68 y 8.75 ppm, respectivamente (Cuadro 2); las concentraciones más altas correspondieron a las zonas cercanas a Pachuca, esto supone altas cantidades de materia orgánica en el agua que se reflejan en los niveles de nitritos. En las muestras 8 y 9, correspondientes a Tizayuca, la presencia de nitritos se relaciona con el empleo de fertilizantes nitrogenados en la zona, ya que es una de las áreas de mayor importancia agrícola del estado de Hidalgo, además de que en las últimas décadas la mayoría de los establos se han concentrado en Tizayuca. Huizar (1993) detectó 0.83 ppm de NO_2^- en aguas subterráneas de las zonas de Téllez y Tizayuca.

Con respecto a los metales pesados Fe, Cu, Mn y Zn, éstos variaron de 0.0069 a 1.2928; 0.0069 a 0.1986; 0.0023 a 0.4375 y de 0.0455 a 0.2625 ppm, con valores promedio de 0.4696, 0.0631, 0.1460 y 0.1309 ppm, respectivamente. Estos valores se encuentran dentro de los límites establecidos para aguas residuales con fines agrícolas según el CE-CCA-001/89; sin embargo, algunos elementos como el Cu, aunque no rebasan los límites, en algunos sitios (por ejemplo; en los sitios 7, 13 y 15) se encontraron en el límite de las normas (Cuadro 2); Las concentraciones de Mn detectadas aunque éste no se sanciona para las aguas de riego, fueron considerables, tal es el caso de los Sitios 13, 15, 12, 5, 1, 3 y 7, ubicados en las cercanías de Pachuca, Tizayuca y Cd. Sahagún, aunque las muestras más concentradas fueron las 13, 15 y 12 ubicadas en el río De las Avenidas, debido a que a esta altura la mayor parte de sus aguas provienen de las minas de Pachuca. Estas aguas se diluyen al integrarse las aguas municipales de la ciudad al río, mediante el Colector Central, entre Pachuca y el poblado de Téllez (Figura 1). Las elevadas cantidades de Mn detectadas en las cercanías de Pachuca coinciden con lo publicado por Flores (1993), quien menciona hasta 87 ppm de Mn extractable para los suelos de esta zona, lo cual puede ser peligroso para las plantas, ya que, como mencionan Bohn *et al.* (1985), los metales pesados tienden a precipitarse y a acumularse en el suelo y, al encontrarse en condiciones adecuadas de pH, entre otros factores, se liberan con facilidad y afectan el desarrollo normal de las plantas.

Los contenidos detectados de Cr, Pb, Cd, Co y Ni fueron de 0.025 a 0.0375; 0.0247 a 0.3418; 0.0006 a 0.0089; 0.0033 a 0.0376; y de

Cuadro 2. Variación de las características químicas y del contenido de elementos traza en las aguas residuales de la Cd. de Pachuca, Hgo., y su comparación con los niveles establecidos por el CE-CCA-001/89.

| Parámetro | Máximo | Mínimo | Prome- dio | Niveles permisibles CE-CCA-001/89 |
|----------------------|--------|--------|---------------|--------------------------------------|
| pH | 8.70 | 7.40 | 8.08 | 6 - 9 |
| C.E. mho | 3470 | 390 | 1373.74 | 1000 |
| Ca ²⁺ ppm | 86.48 | 23.40 | 58.63 | NS |
| Mg ²⁺ ppm | 105.22 | 5.62 | 32.94 | NS |
| Na ⁺ ppm | 307.24 | 11.96 | 113.44 | 250 |
| K ⁺ ppm | 204.59 | 6.59 | 51.81 | 250 |
| CO ₂ ppm | 18.00 | 0.00 | 4.10 | NS |
| HCO ₃ ppm | 650.66 | 176.22 | 340.24 | 100 |
| Cl ⁻ ppm | 234.30 | 67.70 | 139.76 | 147.5 |
| SO ₄ ppm | 374.25 | 8.16 | 106.32 | 130.0 |
| NO ₃ ppm | 18.88 | 0.52 | 4.09 | 30.0 |
| NO ₂ ppm | 14.13 | 0.00 | 3.66 | NS |
| B ppm | 0.33 | 0.01 | 0.09 | 0.7 |
| Fe ppm | 1.2928 | 0.0068 | 0.4694 | 5.0 |
| Cu ppm | 0.1986 | 0.0068 | 0.0631 | 0.2 |
| Mn ppm | 0.4375 | 0.0023 | 0.1460 | - |
| Zn ppm | 0.2625 | 0.0454 | 0.1309 | 2.0 |
| Cr ppm | 0.0375 | 0.0025 | 0.0125 | - |
| Pb ppm | 0.3418 | 0.0247 | 0.1129 | 5.0 |
| Cd ppm | 0.0089 | 0.0006 | 0.0025 | 0.01 |
| Co ppm | 0.0376 | 0.0033 | 0.0146 | - |
| Ni ppm | 0.0651 | 0.0068 | 0.0290 | 0.2 |

NS: No se sanciona.

0.0069 a 0.0651 ppm, con promedios de 0.0125, 0.1129, 0.0025, 0.0146 y 0.0290 ppm, respectivamente. Estas cantidades se encuentran muy por debajo de los límites del CE-CCA-001/89, pero la dinámica de los metales pesados, tanto en el suelo como en las plantas, es muy compleja, por lo cual estos elementos son muy tóxicos ya que se trata de elementos que no son esenciales para las plantas y, al igual que el Fe, Cu, Mn y Zn, tienden a acumularse y a afectar las propiedades químicas y biológicas del suelo.

CONCLUSIONES

Las aguas residuales de Pachuca y Ciudad Sahagún son medianamente alcalinas con ciertos problemas de salinidad, sobre todo en el período de estiaje en los Sitios 5, 6, 11 15, 8, 4, 3 y 1; donde cabe destacar las altas concentraciones de HCO_3^- , Na^+ , Cl^- , y SO_4^{2-} .

El estudio de las aguas de Tizayuca a través de los Sitios 5, 8 y 9 en el río De las Avenidas, permitió conocer que el agua residual de estos sitios, por sus características de salinidad, no puede ser utilizada en la agricultura.

Las concentraciones de P, NO_2^- y B no exceden los límites establecidos por SEDESOL para aguas residuales de uso agrícola.

Respecto al Fe, Mn, Zn, Cu, Pb, Ni, Cr, Co y Cd, éstos no rebasaron los límites permisibles establecidos por el CE-CCA-001/89. Sin embargo, cabe destacar la presencia de considerables concentraciones de Fe, Mn, Cu y Zn en los sitios cercanos a Pachuca y Tizayuca, que fueron las áreas más problemáticas.

AGRADECIMIENTOS

Los autores desean patentizar su agradecimiento a la Bióloga Lucía Rodríguez Domínguez y a la Q.F.B. Ana María Rocha T. por su colaboración en la revisión del manuscrito.

LITERATURA CITADA

- APHA-AWWA-QPCF. 1980. Standard methods for the examination of water and wastewater. Amer. Pub. Health Assoc. Washington, D.C.
- BHON H., B. McNEAL, and G. O'CONNOR. 1985. Soil chemistry. 2nd edition. John Wiley and Sons. N. Y.
- C.D.A.R. PACHUCA, HGO. 1992. Informe interno sobre el uso de aguas residuales en la agricultura.
- CHAPMAN, H.D. y P.F. PRATT. 1989. Métodos de análisis para suelos, plantas y aguas. Ed. Trillas, México.
- CRITERIO ECOLOGICO DE CALIDAD DEL AGUA CE-CCA/001/89. 1989. Diario Oficial de la Federación, 13 de diciembre de 1989.
- DEVLIN, R. 1989. Fisiología Vegetal. Ed. Omega, Barcelona, España.
- FLORES R., A. 1993. Diagnóstico y evaluación de los grados de contaminación de los suelos del transecto Téllez-Pachuca por metales pesados presentes en las aguas residuales del Río de las Avenidas y el Colector Central de Pachuca. Tesis de Licenciatura. Biología. E.N.E.P. Zaragoza, U.N.A.M.
- GARCIA O., J. 1990. Experiencia tecnológica del aprovechamiento del agua residual en la agricultura. Comisión Nacional del Agua. Inst. Mex. de Tec. del Agua.
- HUIZAR A., R. 1993. Carta hidrogeológica de la Cuenca del Río de las Avenidas, de Pachuca, Hgo., México. Investigaciones Geográficas. Bol. del Inst. Geog. 27: 95-131.
- JACKSON, M.L. 1966. Química de suelos. Ed. Omega, Barcelona, España.
- MENDEZ G., T. 1982. Estudio sobre la contaminación de suelos agrícolas del Valle del Mezquital, Hgo., por A.B.S., boro y metales pesados por el uso de aguas residuales de la Ciudad de México. Tesis Licenciatura. Biología. Fac. de Ciencias, U.N.A.M.
- MENDEZ G., T. y R. GUAJARDO V. 1985. Contaminación de las aguas negras de la ciudad de México por boro A.B.S. y metales pesados. Terra 3: 3-6.
- MENDEZ G., T., R. GUAJARDO V. y L. FLORES D. 1991. Contenido de metales pesados, B. (A.B.S.), grasas y aceites en las aguas residuales de riego del D.D.R. 063, Mixquiahuala, Edo. de Hidalgo. pp. 110-113. In: Conv. Evol. Geol. Méx. Inst. de Geol., U.N.A.M.
- MORENO D.R. 1970. Criterios tentativos para aguas y suelos de México, INIA. México.
- NORMA TECNICA ECOLOGICA NTE-CCA-031/91. 1991. Diario Oficial de la Federación, 20 de septiembre de 1991.
- RICHARDS L.A. 1973. Diagnóstico y rehabilitación de suelos salinos y sódicos. Ed. Trillas, México.
- US-EPA. 1974. Methods for chemical analysis of water and wastes: methods development and quality assurance research laboratory. Mac. Env. Res. Cont., Cincinnati, Ohio, U.S.A.

PRODUCCION Y DISTRIBUCION DE MATERIA SECA EN PLANTAS DE TRIGO POR EFECTO DE DIFERENTES RELACIONES AMONIO/NITRATO

Ammonium/Nitrate Ratios Effect on Dry Matter Yield and Distribution in Wheat

Manuel Sandoval V., G. Alcántar G. y J. L. Tirado T.

Programa de Edafología, Colegio de Postgraduados,

Palabras clave: Relación amonio/nitrato, Trigo, Interacción amonio potasio.

Index words: Ammonium/nitrate ratio, Wheat, Interaction of ammonium and potassium.

RESUMEN

Con el objeto de conocer la respuesta del cv de trigo Salamanca S-75 a diferentes relaciones amonio/nitrato, se condujo un experimento en condiciones hidropónicas en los meses de agosto a noviembre de 1990. Los tratamientos probados a lo largo del ciclo fueron las relaciones amonio/nitrato ($\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$) 7/0, 5/2, 3.5/3.5, 2/5 y 0/7 (meq L^{-1}), en combinación con dos niveles de potasio (3.5 y 7.0 meq L^{-1}). Después del trasplante, las plantas crecieron en una solución diluida a 50% con 3.5/3.5 (amonio/nitrato) y 4.25 meq L^{-1} de potasio. Veintiún días después del trasplante se aplicaron los tratamientos indicados, el agua consumida se repuso y no se corrigió el pH. La solución nutritiva se cambió cada seis días. Se tomaron muestras de material vegetal a los 28, 35 y 105 días de edad. Se determinaron el peso seco de cada órgano de la planta, grado de amacollamiento, la concentración de nutrimentos, la producción final

Recibido 4-94.

de grano y los días a la madurez fisiológica del grano. Las plantas abastecidas con fracciones de nitrógeno amoniacal (NH_4^+-N) iguales o menores a 50%, incrementaron en forma considerable el índice de cosecha, específicamente la relación 2/5 registró grandes incrementos en la producción y calidad del grano, lo cual se asoció a un alto número de hijuelos productivos y a una mayor absorción de nitrógeno, fósforo y potasio en este tratamiento. La madurez fisiológica de los granos se alcanzó primero en las plantas desarrolladas con nitrógeno nítrico (NO_3^--N) y se prolongó hasta por 15 días al emplear fracciones de NH_4^+-N en la relación 2/5. No se encontró efecto alguno del potasio sobre la producción de materia seca o asimilación del amonio, posiblemente porque el bajo nivel de potasio fue suficiente para proveer adecuadamente a la planta.

SUMMARY

An experiment was conducted to study wheat (cv. Salamanca S-75) response to different ammonium/nitrate ratios, supplied with two levels of potassium. Plants were developed from August to November 1990, in nutrient solutions containing 7/0, 5/2, 3.5/3.5, 2/5, and 0/7 ammonium/nitrate ratios in meq l^{-1} , and two potassium levels, 3.5 and 7.0 meq l^{-1} . The first week all plants

were provided with half-strength nutrient solution containing 3.5/3.5 meq l⁻¹ ammonium/nitrate ratio and 4.25 meq l⁻¹ of potassium. The second week the plants were provided with undiluted nutrient solution and then the ammonium/nitrate treatments were applied. The water consumed was replaced daily without pH control and nutrient solutions were renewed every 6 days. Plant samples were collected at 28, 35, and 105 days of plant age, to evaluate: nutrients contents, dry matter production, days to physiological maturity, level of tillering and grain yield. Plants provided with any NH₄⁺-N proportion, increased considerably the harvest index, but only plants supplied with 2/5 NH₄⁺/NO₃⁻ ratio showed a high increase in grain yield and quality, probably related with the enhancement in the number of tillers. Plants treated exclusively with NO₃⁻-N reached promptly physiological maturity of grains and plants provided with any mixture containing NH₄⁺ delayed its physiological maturity; 15 days for the 2/5 NH₄⁺/NO₃⁻ ratio. No effect of potassium was observed on dry matter production or ammonium uptake, perhaps the low level of potassium was sufficient under experimental conditions.

INTRODUCCION

Cada año se aplican a los suelos agrícolas grandes cantidades de fertilizantes nitrogenados, debido a que el nitrógeno es un elemento esencial altamente demandado por las plantas. La absorción de nitrógeno puede ocurrir, en forma de nitrato (principalmente), de amonio y también como urea. En condiciones naturales de cultivo, es decir en suelo, predominan los iones nitrato a causa del proceso de nitrificación.

La forma en que la planta absorbe el nitrógeno influye sobre el balance de cationes y aniones en el interior de la misma (Kirkby y Knight, 1977; Mengely Kirkby, 1987). La absorción activa de nitrato induce la absorción de cationes, proceso conocido como simporte (Blevin *et al.*, 1974), y permite mantener el balance de cargas en el interior de la planta, al absorberse simultáneamente del nitrato con iones de carga opuesta (Ca²⁺, Mg²⁺, K⁺ y Na⁺). Aunque el equilibrio de cargas también puede lograrse con la expulsión, por parte de la

planta, de aniones, generalmente OH⁻ y HCO₃⁻ o ambos (Kirkby y Armstrong, 1980), lo cual provoca alcalinización del medio en que crece la raíz. Ambos casos ocurren a la vez: se incrementa la concentración de cationes en el tejido vegetal y se alcaliniza el medio. En cambio, cuando a la planta se le suministra una mezcla de amonio y nitrato, disminuye la concentración de cationes, aumenta la de aniones y disminuye el pH del medio (Mengel y Kirkby, 1987).

Con soluciones nutritivas con una proporción de amonio menor a 50%, respecto al total de nitrógeno aplicado, es posible incrementar la producción de grano y de materia seca (MS) en plantas de trigo (Gentry *et al.*, 1989; Heberer y Below, 1989; Lips *et al.*, 1990), triticale y centeno (Gashaw y Mugwira, 1981) y maíz (Alexander *et al.*, 1991), al igual que en fresa y tomate (Ganmore-Neuman y Kafkafi, 1983, 1990). Resultados similares se han obtenido al utilizar fracciones de NH₄⁺-N en suelo al utilizar inhibidores de la nitrificación en trigo (Shaviv y Hagin, 1988; Shaviv *et al.*, 1987) y maíz (Dibb y Welch, 1976).

El ion potasio favorece la asimilación de fósforo al propiciar una mayor absorción de amonio, lo que provoca acidificación de la rizósfera y, por consiguiente, condiciones para una mayor disponibilidad de fósforo en el medio (Lips *et al.*, 1990; Shaviv y Hagin, 1988). También es posible que en esta situación ocurra mayor eficiencia en la absorción y uso del agua, al existir suficiente potasio en la solución nutritiva (Lips *et al.*, 1990). Este efecto se atribuye también a una mayor actividad de las enzimas involucradas en la asimilación del amonio cuando el potasio se encuentra presente (Duke y Collins, 1985).

En general, en gramíneas el uso de fracciones de amonio incrementa el número de hijuelos (Below y Heberer, 1990; Gentry *et al.*, 1989; Heberer y Below, 1989; Shaviv y Hagin, 1988), respecto a plantas abastecidas exclusivamente con nitrato.

Otras investigaciones realizadas en trigo indican que el uso de fracciones de NH₄⁺-N incrementa el peso total de los granos, sin alterar significativamente su tamaño ni la distribución de materia seca en la planta

(Heberer y Below, 1989); también la acumulación de nitrógeno reducido (Nr), P y K aumenta significativamente en los órganos de la planta. Los cultivares de trigo Len e Inbar, después de 21 días de estar sometidos al aporte de fracciones de amonio, registraron incrementos de 19 y 41% en producción total de MS, respectivamente, en comparación con aquellas abastecidas exclusivamente con nitrato; tales ganancias fueron debidas en gran medida a un mayor desarrollo de la parte aérea. Sin embargo, en el cv. Marshall la aplicación de amonio durante el período vegetativo o durante todo el ciclo incrementó la producción total de grano y materia seca, aunque el índice de cosecha disminuyó ligeramente, lo cual indica que no hubo grandes diferencias en la velocidad de crecimiento entre los distintos órganos de la planta.

Con base en lo anterior, el presente trabajo tuvo como objetivo evaluar el efecto de varias relaciones amonio/nitrato en combinación con dos niveles de potasio sobre algunos componentes de la producción en plantas de trigo.

MATERIALES Y METODOS

A plantas de trigo cv Salamanca S-75, desarrolladas en una solución nutritiva en condiciones de invernadero, se les aplicaron cinco relaciones amonio/nitrato (7/0, 5/2, 3.5/3.5, 2/5 y 0/7 meq L⁻¹) a concentración constante de nitrógeno (7 meq L⁻¹), combinadas con dos niveles de potasio (3.5 y 7.0 meq L⁻¹). Las plantas crecieron sostenidas en malla colocada sobre recipientes de plástico de 30 x 40 x 10 cm de ancho, largo y profundidad, respectivamente. Las semillas se sembraron, y al cuarto día después de la emergencia de las plántulas, se colocaron cien plántulas por recipiente. Los recipientes contenían una solución nutritiva con 1.75, 1.75, 2.25, 2, 0.5, 0.5 y 2.25 meq L⁻¹ de NH₄⁺, NO₃⁻, K⁺, Ca²⁺, Mg²⁺, H₂PO₄⁻ y SO₄²⁻, respectivamente, durante la primera semana. A partir de la segunda semana del transplante se duplicó la concentración de la solución y se agregaron micronutrientes de acuerdo con Hogland y Arnon (1950), Fe se adicionó como Fe-EDTA (Hewitt, 1966); se hizo un aclareo y se dejaron cincuenta plantas por recipiente. Cada día se repuso el agua consumida sin

corregir el pH. Los tratamientos antes señalados se iniciaron en plantas de 21 días de edad; los cambios de solución nutritiva se hicieron cada 6 días. Se tomaron muestras de material vegetal a 28, 35 y 105 días de edad. En las muestras se determinó: peso seco por órgano; concentración de nitrógeno total, calcio, magnesio, potasio y azufre, de acuerdo con Alcántar *et al.* (1994); grado final de amacollamiento de las plantas. El índice de cosecha se obtuvo de dividir el peso seco de las espigas entre el peso seco total de la parte aérea. El análisis estadístico se llevó a cabo utilizando el paquete de SAS (1985), conforme con el modelo de bloques al azar generalizado. Para la prueba de medias se empleó la prueba de Tukey a 0.05%.

RESULTADOS Y DISCUSION

No se detectaron diferencias significativas por efecto de las dosis de potasio, al someter los datos a un análisis de varianza, aunque en algunos tratamientos la producción final de MS fue mayor en el nivel bajo de potasio. No se detectó ningún efecto positivo del potasio sobre la absorción del amonio. Es posible que la falta de respuesta se deba a que el nivel bajo de K haya sido suficiente para proveer a la planta de este elemento.

Índice de cosecha (IC) y peso de cien granos

Hubo un efecto depresivo significativo del empleo exclusivo de nitrato o de amonio (Tratamientos 0/7 y 7/0) sobre el IC del trigo, tanto en los tallos principales, como en los hijuelos y en toda la planta (Cuadro 1). Las mayores proporciones de grano (mayores IC) en la planta completa se lograron con las relaciones amonio/nitrato 3.5/3.5 y 2/5, aunque en el tallo principal también se tuvo un alto IC con la relación 5/2. Es notorio que el uso de nitrato como fuente única de nitrógeno causó los IC más pequeños. Como información adicional se observó que los granos de las plantas abastecidas con nitrato fueron más pequeños.

Lo anterior indica que cuando la planta absorbe solamente nitrato se favorece el crecimiento de estructuras vegetativas (hojas y tallos), mientras que al absorber una mezcla de amonio y nitrato se beneficia el

Cuadro 1. Índice de cosecha en tallos principales, en hijuelos, en la planta completa y peso de cien granos en el cv. de trigo Salamanca S-75, a los 106 días de edad.

| Relación N ^z NH ₄ /NO ₃ | Tallos principales ^y | Hijue- los ^y | Planta Completa ^y | Peso de cien granos ^y | |
|---|------------------------------------|----------------------------|---------------------------------|-------------------------------------|------|
| meq L ⁻¹ | | | | g | |
| 7/0 | 8 | 0.59b | 0.55b | 0.57c | 3.1b |
| 5/2 | 16 | 0.66a | 0.56b | 0.62b | 3.7b |
| 3.5/3.5 | 15 | 0.69a | 0.66a | 0.68a | 3.5b |
| 2/5 | 13 | 0.64a | 0.67a | 0.66a | 4.8a |
| 0/7 | 11 | 0.52c | 0.35c | 0.48d | 2.3c |

^y Letras iguales en una misma columna indican igualdad de tratamientos (Tukey, 5%).

^z N = Número de repeticiones

crecimiento de órganos reproductivos, como ya ha sido señalado por Lips *et al.* (1990). Sin embargo, Below y Heberer (1990) consideraron que el IC es poco modificable por efecto de la relación amonio/nitrato, más no así el peso de los granos. Las diferencias entre los resultados de este trabajo y los datos de Below y Heberer (1990) pudieran atribuirse al tipo de trigo utilizado o a las condiciones ambientales, tanto las climáticas como las de las soluciones nutritivas.

Producción y distribución de MS y amacollamiento

La relación amonio/nitrato afectó considerablemente el peso seco del follaje, el de las espigas de tallos principales y de hijuelos, y el de la raíz (Cuadro 2). Básicamente el Tratamiento 2/5 superó estadísticamente al resto de los tratamientos,

sobre todo en cuanto a la acumulación de biomasa en los hijuelos y en la raíz. En los tallos principales esa relación amonio/nitrato (2/5), también resultó sobresaliente junto con la relación 3.5/3.5, específicamente en MS de la espiga. Las altas proporciones de amonio (Tratamientos 7/0 y 5/2) causaron los valores más bajos de biomasa aérea (Cuadro 2). Varios investigadores han coincidido en concluir que en gramíneas se obtienen mayores producciones de MS con mezclas de amonio y nitrato (Gentry *et al.*, 1989; Heberer y Below, 1989; Shaviv y Hagin, 1988), pero no indican el porcentaje de MS que aportan los hijuelos, que puede ser importante, como en el Tratamiento 2/5 que indujo un alto grado de amacollamiento en contraste con el Tratamiento 0/7, en el que se generaron muy pocos hijuelos (Cuadro 3).

La mayor proliferación de hijuelos en el Tratamiento 2/5 se puede atribuir a: 1) la canalización de parte de la energía, que en tratamientos con nitrógeno nítrico se usaba para absorber y reducir los nitratos, hacia el desarrollo adicional de hijuelos (Below y Heberer, 1990); 2) una mayor acumulación de N (orgánico más amoniacal) en plantas abastecidas con amonio y nitrato, que, según Shaviv y Hagin (1988), oscila de 30 a 67%, además de una acumulación adicional de P y K, respecto a plantas abastecidas exclusivamente con nitrato (Gentry *et al.*, 1989) y 3) a un descenso en la respiración de la raíz respecto a la fotosíntesis total por planta (Lips *et al.*, 1990). Se considera que estos procesos ocurrieron a la vez en el

Cuadro 2. Peso seco de espigas, del follaje (tallos mas hojas) y de la raíz de plantas de trigo cv. Salamanca S-75.

| Relación NH ₄ /NO ₃ | N ^z | Tallos principales | | Hijuelos | | Raíz ^y | Peso total ^y |
|--|----------------|-----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|-------------------|----------------------------|
| | | Espigas ^y | Follaje ^y | Espigas ^y | Follaje ^y | | |
| meq L ⁻¹ | | ----- g ----- | | | | | |
| 7/0 | 8 | 1.8c | 1.7c | 2.0b | 1.6b | 1.0b | 8.1b |
| 5/2 | 16 | 3.1b | 1.9bc | 1.9b | 1.1bc | 0.6c | 8.6b |
| 3.5/3.5 | 15 | 4.0a | 2.1b | 1.8b | 1.0c | 0.6c | 9.5b |
| 2/5 | 13 | 4.0a | 2.2b | 8.0a | 5.0a | 1.4a | 20.6a |
| 0/7 | 11 | 3.2ab | 3.0a | 0.8b | 1.3b | 0.9b | 9.2b |

^y Letras iguales en una misma columna indican igualdad de tratamientos (Tukey, 5%).

^z N = Número de repeticiones.

Cuadro 3. Efecto de la relación amonio/nitrato sobre el número de tallos principales, el número de hijuelos productivos, el número total de hijuelos y su aportación (%) en la producción de materia seca en plantas de trigo a la madurez fisiológica del grano.

| NH ₄ /NO ₃ N ^x | NTP ^y | NHP ^y | NTH ^y | MS de hijuelos/ MS total ^y | |
|---|------------------|------------------|------------------|--|------|
| | | | | meq L ⁻¹ | % |
| 7/0 | 8 | 1.5b | 4.2b | 6.5b | 53b |
| 5/2 | 16 | 2.1b | 3.3b | 5.3b | 40b |
| 3.5/3.5 | 15 | 2.4ab | 2.3bc | 2.9bc | 34bc |
| 2/5 | 13 | 3.0a | 10.1a | 11.4a | 64a |
| 0/7 | 11 | 3.1a | 2.3bc | 3.7bc | 22bc |

^yLetras iguales en una misma columna indican igualdad de tratamientos (Tukey, 5%).

^xN = número de repeticiones; NTP = número de tallos principales; NHP = número de hijuelos productivos; NTH = número total de hijuelos; MS = masa seca.

Tratamiento 2/5, lo cual explicaría la gran cantidad de hijuelos presentes en las plantas de este tratamiento.

Las cantidades totales de N, P y K en el tejido vegetal (Cuadro 4) indican que a los 105 días de edad el Tratamiento 2/5 superó en 50 a 100% al siguiente mejor tratamiento, por lo general el 3.5/3.5. Ello también contribuye a explicar la gran cantidad de MS acumulada en el tratamiento con la relación 2/5.

Días a la madurez fisiológica

La presencia de amonio en la solución nutritiva provocó que las plantas alargaran su ciclo biológico (Cuadro 5) y permanecieran

verdes durante más tiempo, a excepción del tratamiento con 100% de amonio. Al respecto, Spiertz y De Vos (1983) señalaron que en trigo la mayor parte del nitrógeno que se transloca al grano proviene del nitrógeno orgánico presente en la planta; es entonces posible inferir que en plantas abastecidas con mezclas de nitrógeno nítrico y amoniacal se acumulará más nitrógeno reducido, lo cual retrasaría la degradación de la enzima ribulosa bifosfato carboxilasa oxidasa (Rubisco), principal proteína en tejidos verdes. Esto también lo supusieron Alexander *et al.*, (1991) en plantas de maíz desarrolladas en solución nutritiva con amonio y nitrato. Es posible, además, que en etapas cercanas a la maduración del grano, la planta continúe absorbiendo amonio, el cual se asimila en los productos carbonados (cetoácidos) generados por la respiración de la raíz. En este experimento no se evaluó, en tales etapas, la desaparición de amonio o de nitrato, por lo que se recomienda hacerlo en trabajos posteriores.

CONCLUSIONES

En las condiciones (invernadero e hidroponía) en que se desarrolló el cultivo de trigo, resulta conveniente el empleo de fracciones de amonio menores o iguales a 50% del total del nitrógeno aplicado. Con una mayor proporción de amonio la planta registra decrementos en la producción.

Los incrementos de biomasa observados en las plantas con la relación amonio/nitrato 2/5 (meq L⁻¹) se asociaron, principalmente, a

Cuadro 4. Acumulación de nitrógeno total, potasio y fósforo en la parte aérea de plantas de trigo por efecto de la relación amonio/nitrato.

| Relación NH ₄ /NO ₃ | Nitrógeno total ^z | | | Potasio ^z | | | Fósforo ^z | | |
|--|---|-------|--------|----------------------|-------|---------|----------------------|------|-------|
| | 28d | 35d | 105d | 28d | 35d | 105d | 28d | 35d | 105d |
| meq L ⁻¹ | - - - - - mg planta ⁻¹ - - - - - | | | | | | | | |
| 7/0 | 22.6b | 32.8b | 184.5b | 13.1b | 21.1c | 425.0c | 2.4b | 3.7b | 50.4b |
| 5/2 | 24.6b | 36.7b | 193.7b | 26.4a | 26.8b | 471.0c | 2.7b | 3.6b | 44.7b |
| 3.5/3.5 | 29.7a | 47.6a | 199.0b | 30.2a | 35.7a | 574.4b | 3.2b | 4.8a | 48.2b |
| 2/5 | 28.2a | 50.0a | 340.0a | 33.3a | 39.3a | 1136.0a | 3.0b | 5.0a | 68.8a |
| 0/7 | 31.6a | 40.9b | 218.6b | 34.6a | 29.5b | 359.5c | 4.6a | 4.6a | 46.1b |

^zLetras iguales en una misma columna indican igualdad de tratamientos (Tukey, 5%).

Cuadro 5. Días a la madurez fisiológica de las plantas de trigo cv. Salamanca S-75 por efecto de la relación amonio/nitrato en condiciones hidropónicas.

| Relación Amonio/nitrato meq L ⁻¹ | Días a la madurez fisiológica |
|---|-------------------------------|
| 7/0 | 83 - 85 |
| 5/2 | 90 - 95 |
| 3.5/3.5 | 90 - 95 |
| 2/5 | 100 - 105 |
| 0/7 | 80 - 85 |

un mayor número de hijuelos productivos y a una mayor absorción de N, P y K.

La asimilación del amonio y la producción de MS no se afectaron por la concentración de potasio en la solución nutritiva; es posible que con 3.5 meq L⁻¹ de K⁺ sea suficiente para lograr un buen abastecimiento de este nutrimento en las condiciones experimentales aquí señaladas.

LITERATURA CITADA

- ALCANTAR G., G., J. L. TIRADO T. y S. ALCALDE B. 1994. Análisis químico vegetal, una herramienta de diagnóstico. Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo. Montecillo, México. 221 p. En prensa.
- ALEXANDER, K. G., M. H. MILLER, and E. G. BEAUCHAMP. 1991. The effect of an NH₄⁺-enhanced nitrogen source on the growth and yield of hydroponically grown maize (*Zea mays* L.). J. Plant Nutr. 14:31-44.
- BELOW, F. E., and J. A. HEBERER. 1990. Time of availability influences mixed-nitrogen-induced increases in growth and yield wheat. J. Plant Nutr. 13:667-676.
- BLEVIN, D. G., A. J. HIATT, and R. H. LOWE. 1974. The influence of nitrate and chloride uptake on expressed sap, pH, organic acids synthesis and potassium accumulation in higher plants. Plant Physiol. 54:82-87.
- DIBB, D. W., and L. F. WELCH. 1976. Corn growth as affected by ammonium vs nitrate absorbed from soil. Agron. J. 68:89-94.
- DUKE, S. H., and M. COLLINS. 1985. Role of potassium in legume dinitrogen fixation. pp. 443-465. In: R.D. Munson (ed.). Potassium in Agriculture. Am. Soc. Agron. Madison, WI.
- GANMORE-NEUMAN, R., and U. KAFKAFI. 1990. Root temperature and percentage NO₃⁻/NH₄⁺ effect on tomato plant development. I. Morphology and growth. Agron. J. 72:758-761.
- GANMORE-NEUMAN, R., and U. KAFKAFI. 1983. The effect of root temperature and NO₃⁻/NH₄⁺ ratio on strawberry plants. I. Growth, flowering, and root development. Agron. J. 75:941-947.
- GASHAW L., and L. M. MUGWIRA. 1981. Ammonium-N and nitrate-N effects on the growth and mineral composition of triticale, wheat, and rye. Agron. J. 73:47-51.
- GENTRY, L. E., X. T. WAGE, and F. E. BELOW. 1989. Nutrient uptake by wheat seedling that differ in response to mixed nitrogen nutrition. J. Plant Nutr. 12:363-373.
- HEBERER, J. A., and F. E. BELOW. 1989. Mixed nitrogen nutrition and productivity of wheat grown in hydroponics. Ann. Bot. 63:643-649.
- HEWITT, E. J. 1966. Sand and water culture methods based in the study of plant nutrition. Commonwealth Agricultural Bureaux, Great Britain.
- HOGLAND, D. R., and D. I. ARNON. 1950. The water-culture method for growing plants without soil. Circ. 347. Berkeley California. Agric. Exp. Station, Univ. of Calif.
- KIRKBY, E. A., and A. H. KNIGHT. 1977. The influence of the level of nitrate nutrition on ion uptake and assimilation, organic acids accumulation and cation-anion balance in whole tomato plant. Plant Physiol. 60:349-353.
- KIRKBY, E. A., and M. J. ARMSTRONG. 1980. Nitrate uptake by roots as regulated by nitrate assimilation in the shoot of castor oil plants. Plant Physiol. 65: 286-290.
- LIPS, S. H., E. O. LEIDI, M. SILBERBUSH, M. I. M. SOARES, and O. E. M. LEWIS. 1990. Physiological aspects of ammonium and nitrate fertilization. J. Plant Nutr. 13: 1271-1289.
- MENGEL, K., and E. A. KIRKBY. 1987. Principles of plant nutrition. 4th ed. International Potash Institute. Worblaufen. Switzerland.
- SAS Institute Inc. 1985. SAS/STAT Guide for personal computers, version 6 edition. Cary, N.C., U.S.A.
- SHAVIV A., J. HAGIN, and P. M. NEUMANN. 1987. Effects of nitrification inhibitor on efficiency of nitrogen utilization by wheat and millet. Commun. Soil Sci. Plant Anal. 18: 815-833.
- SHAVIV A., and J. HAGIN. 1988. Interaction of ammonium and nitrate nutrition with potassium in wheat. Fertilizer Res. 17: 137-146.
- SPIERTZ, J. H. J., and N. M. de VOS. 1983. Agronomical and physiological aspects of the role of nitrogen in yield formation of cereals. Plant Soil 75: 379-391.

EFFECTO DE LA APLICACION DE DETERGENTES ANIONICOS EN EL RENDIMIENTO DE ALFALFA, CEBADA y LECHUGA

Effect of Anionic Detergents Application on Yield of Alfalfa, Barley, and Lettuce.

Teodoro Méndez García, Victor Villamar Hernández y
Arelia González Velázquez

Instituto de Geología, Universidad Nacional Autónoma de México,
Ciudad Universitaria, Delegación Coyoacán, 04510 México, D.F.

Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México,
Ciudad Universitaria, Delegación Coyoacán, 04510 México, D.F.

Palabras clave: Contaminación, Agua residual.

Index words: Pollution, Waste water.

RESUMEN

Se evaluaron los efectos de seis dosis de surfactantes aniónicos, tanto en el crecimiento como en el rendimiento de alfalfa, cebada y lechuga, en invernadero. El diseño experimental fue factorial incompleto de 3 x 3 x 3 x 6, distribuido en bloques al azar. Se usaron tres suelos, tres cultivos, tres repeticiones y seis tratamientos, lo que hizo un total de 162 unidades experimentales (macetas). Se realizaron observaciones y mediciones continuas durante cuatro meses. Al finalizar el experimento, se cosecharon las plantas y se determinó el rendimiento en peso seco. Por lo general, los detergentes en las dosis menores o iguales a 30 ppm estimularon el crecimiento de las plantas durante los primeros 45 días en los tres cultivos; mientras los tratamientos de 40 y 50 ppm produjeron efectos fisiológicos negativos durante todo el experimento. Después de los dos meses, los efectos positivos en el crecimiento fueron menos claros y se observó, además, una marcada clorosis a medida que

aumentaban las concentraciones de surfactantes. Al finalizar el experimento la altura de las plantas tendió a la homogeneidad, a excepción de la cebada que fue la más afectada. Aunque se observaron ciertas diferencias cuantitativas en el crecimiento en la mayoría de las mediciones en los tres cultivos, éstas sólo fueron significativas en alfalfa y lechuga, en algunas mediciones, en los Suelos 1 y 2.

Los resultados en peso seco para alfalfa y cebada en los tres suelos, indican que los mejores rendimientos se obtuvieron en el suelo arcilloso, mientras que para la lechuga el mejor suelo fue el arenoso. En los tres cultivos los detergentes estimularon el crecimiento, lo cual se reflejó en el rendimiento. Sin embargo, aunque se presentaron diferencias en cuanto a rendimiento en peso seco de los tres cultivos, éstas no fueron significativas de las variables utilizadas en el experimento.

SUMMARY

The effects of six rates of anionic detergents on the growth and yield of alfalfa, barley and lettuce was evaluated under greenhouse conditions. The experiment was planned with an incomplete factorial design with three soils, three plant species, three replicates and six detergent treatments

Recibido 11-92.

arranged in randomized blocks with a total of 162 pots. Continuous observations and measurements were carried out during four months. At harvest, plant yield was estimated by the dry weight. In general, the detergents in closes up to 30 ppm stimulated plant growth of the three species, during the first 45 days but not in the 40 and 50 ppm treatments where the effects were physiologically negative during the entire experiment. After two months, the positive effects on plant growth were not so clear. Furthermore, at higher detergent concentrations a marked chlorosis was observed. At the end of the experiment, the height of the plants showed a trend towards homogeneity, except for barley, which plants were the most affected. Although some differences in growth were observed in most of the plants, these were only significant for alfalfa and lettuce in soils 1 and 2.

The results of dry weight for alfalfa and barley pointed out the best yields in day soils while the sandy soil proved to be the best for lettuce. In the three species, the detergents stimulated their growth as measured in their yields. However, the differences were not statistically significant.

INTRODUCCION

Los detergentes son sustancias sintéticas derivadas de la molécula de tetrapropileno, usadas ampliamente como agentes limpiadores desde su introducción, antes de la Segunda Guerra Mundial, los cuales han ido desplazando gradualmente a los jabones (Méndez, 1982).

El primer detergente en polvo que salió al mercado, en 1938 fue el Dreff, el cual fue sustituido durante la Segunda Guerra Mundial por el Alkil tolueno, y dejó de utilizarse por su alta higroscopicidad. Al finalizar la guerra, salió al mercado un nuevo producto, el A.B.S. (Alkil bencen sulfonato), sintetizado a partir de la molécula del polipropileno, que se utilizó en los Estados Unidos de Norteamérica, Europa y Japón, de 1942 a 1956 (Méndez *et al.*, 1990).

En los sesentas se utilizó un nuevo surfactante conocido como L.A.S. (Alkil lineal sulfonato), el cual sustituyó al A.B.S. por ser un detergente biodegradable, en E.U.A., Europa y Japón, L.A.S. es una molécula formada por una cadena lineal sin ramificaciones, lo cual facilita su biodegradación. Mientras que la molécula de A.B.S. es una cadena compleja con varias ramificaciones, lo cual hace difícil su biodegradación, por lo que se denominan detergentes no degradables (Méndez, 1982).

Mientras otros países desde los sesentas, han cambiado la formulación de los detergentes de tipo A.B.S. por la del L.A.S., en México, a más de 40 años de la introducción del L.A.S. al mercado y a más de tres décadas de su prohibición en E.U.A. y Europa, siguen utilizándose detergentes no degradables de tipo A.B.S. Además, México es uno de los principales productores de materia prima para la fabricación de detergentes: el Dodecil benceno, material base producido por Pemex (más de 50 000 t año⁻¹), el cual se exporta y posteriormente se importa como A.B.S. (Méndez *et al.*, 1990).

De acuerdo con las propiedades electrolíticas de los agentes tensoactivos, y dependiendo de la naturaleza del grupo polar, éstos se dividen en: detergentes aniónicos, catiónicos y no iónicos (a los primeros pertenecen el A.B.S., L.A.S. y A.O.S.), existen además, los detergentes biológicos, los cuales están compuestos por un detergente común más la bacteria *Bacillus subtilis* (Franco *et al.*, 1988).

Los detergentes, utilizados principalmente en actividades de limpieza, y en la industria o manufactura de productos, presentan una cadena polar alifática hidrofílica y un anillo bencénico caracterizado por ser hidrofóbico. A esta dualidad de la molécula se deben las propiedades de los detergentes, ya que abaten la tensión superficial mediante la acción humectante y emulsificante. Estas propiedades se combinan dándole estabilidad a la molécula

del detergente, que al reaccionar con las aguas duras no forman precipitados con el Ca^{2+} y el Mg^{2+} como ocurre con los jabones (Franco *et al.*, 1988; Méndez, 1982).

La formulación de los detergentes es variable, en general contienen entre 25 y 30% del producto activo (A.B.S., L.A.S. o A.O.S.); presentan 70 a 75% de aditivos y compuestos complementarios como son: sales alcalinas de ácidos débiles inorgánicos, hidróxido de sodio o potasio, sales inorgánicas neutras, carbonato de sodio, bicarbonato de sodio, fosfato trisódico, tripolifosfato de sodio, pirofosfato tetrasódico y hexametáfosfato de sodio (Alhajjar *et al.*, 1989; Méndez, 1982).

Bogan y Sawyer (1956), y Pitter (1966) mencionan que la biodegradación de los surfactantes depende del tipo de detergente que se trate, ya que en el caso del A.B.S. es lenta y complicada, pues depende fundamentalmente de la posición y tipo del grupo fenilo, la longitud de la cadena, así como la posición del anillo aromático.

ANTECEDENTES

El efecto de los detergentes en el medio ambiente depende de su configuración molecular, el A.B.S. es más drástico, ya que sus moléculas presentan varias ramificaciones y un anillo aromático que hacen difícil su biodegradación. Los surfactantes de tipo L.A.S. y A.O.S. están formados por una cadena lineal sin ramificaciones, lo que hace fácil su biodegradación y su rápida desaparición del medio ambiente (Méndez *et al.*, 1990), aunque también son dañinos porque originan problemas de eutroficación en lagos, lagunas y ríos.

Los efectos del A.B.S., en la naturaleza no han sido claros, la mayoría de los autores señalan que en el agua provocan un aspecto desagradable, por la espuma, olor y sabor; sin embargo, el agua para consumo humano debe estar libre de estas sustancias (EPA, 1988).

En el suelo concentraciones superiores a 100 ppm de A.B.S. afectan los procesos de nitrificación e intercambio iónico. Los efectos del A.B.S., así como la adsorción de

L.A.S. en el suelo, aumentan con el contenido de materia orgánica y los óxidos libres de hierro y aluminio (Federico, 1965; Fink *et al.*, 1970; Murti *et al.*, 1966). Se ha comprobado que la adsorción y los efectos del A.B.S. en el suelo dependen fundamentalmente de las propiedades físicas y químicas del suelo.

Los efectos de los compuestos tensoactivos en la agricultura no han sido claros, ya que mientras se menciona que éstos estimulan el crecimiento de las plantas, también se afirma (Roberk *et al.*, 1963) que retardan e inclusive inhiben la mitosis en algunas plantas como la cebolla, cuando las concentraciones de A.B.S. son mayores a 0.025%.

Cuando se ha investigado en hidroponia, los efectos negativos de los tensoactivos como el A.B.S. han sido más claros, ya que a concentraciones de 10 ppm se inhibe el desarrollo de las plantas en 70% y en 100% en concentraciones de 40 ppm; los residuos de detergentes se acumulan en tallos, hojas y raíces. Sin embargo, al realizar los experimentos en suelo, los efectos en los cultivos fueron menores; únicamente se observó un retraso en el crecimiento del girasol al aplicar 10 ppm de A.B.S., mientras que en la cebada no se produjeron los mismos efectos ya que a concentraciones de 25 ppm se advirtió un crecimiento acelerado (Klein *et al.*, 1962). Resultados similares encontró Juárez (1971) en Lechuga y Frijol.

Concentraciones bajas de A.B.S. estimulan el crecimiento de maíz, frijol, chicharo, cebada, alfalfa y lechuga, aunque aún no se sabe cual es el límite máximo tolerable de surfactantes por parte de los cultivos, ya que este límite varía dependiendo del cultivo y tipo de suelo. Se ha demostrado que concentraciones de 5 ppm de A.B.S., aunque estimulan el crecimiento de ciertos cultivos, generan daños severos de clorosis (Robeck *et al.*, 1963).

En México, el efecto de los detergentes en los suelos no ha sido estudiado, sin embargo, la falta de agua de riego de buena calidad ha estimulado el uso de aguas residuales en la agricultura, lo que ha ocasionado problemas de contaminación por detergentes (Méndez *et al.*, 1990). Por otro lado, la S.R.H. informó en 1971 que el efecto de los detergentes en el suelo por el uso de aguas residuales no era considerable.

Se ha visto experimentalmente que el A.B.S., en concentraciones de hasta 20 ppm estimula el crecimiento de la alga clorofícea *Chorella pyrenoides*, ya que esta planta y otras especies de plantas que crecen en aguas contaminadas (lirio, lemna y azola) toman el fósforo de los detergentes para su metabolismo. Sin embargo, se ha experimentado con otras especies de algas con concentraciones de 10, 20 y 30 ppm, y se ha encontrado que las cuales el crecimiento se inhiben en 41, 68 y 100%, respectivamente, lo cual indica que no todas las especies de algas poseen los mecanismos adecuados para asimilar el fósforo de los detergentes (Maloney, 1966).

Los efectos de los detergentes han sido más claros en la fauna acuática y principalmente en los organismos filtradores como los peces y crustáceos. En experimentos en los que se expusieron, durante un mes, truchas del género *Lepomis macrochirus* a concentraciones de 2.0, 3.2 y 6.4 ppm de A.B.S., se encontró que en la primera concentración los peces no fueron afectados, en la segunda, algunos peces murieron y en la última todos los peces murieron, además de presentar una reducción de tamaño altamente significativa (Lemke y Mount, 1963).

Se ha experimentado también con el pez *Pimepales promelas*, al que se le ha sometido a concentraciones de 3.2, 4.2, 5.6 y de 7.5 a 10 ppm de L.A.S.; se observaron los siguientes resultados: 100, 85, 25 y 0% de sobrevivencia, respectivamente. Si se comparan los efectos de los detergentes es más dañino el A.B.S. que el L.A.S. (Pickering y Thatcher, 1970).

El L.A.S. es relativamente tóxico, en concentración de 3.0 ppm, en la trucha de río. También se ha demostrado que las *Daphnias*, carpas, camarones y larvas de insectos son afectadas por concentraciones mayores a 2.5 ppm de surfactantes (Bogan y Sawyer, 1956).

Este trabajo se realizó con los objetivos de evaluar, en invernadero, los efectos de los detergentes aniónicos en el rendimiento de alfalfa, cebada y lechuga, además de establecer los límites posibles de tolerancia de estos cultivos a los surfactantes de tipo A.B.S. Para esto, se planteó como hipótesis que las bajas concentraciones de A.B.S. estimulan el crecimiento de la lechuga, alfalfa y la cebada, y que las concentraciones superiores a 30 ppm afectan el crecimiento de las plantas, y reducen su rendimiento.

METODOLOGIA

Se utilizaron tres suelos con propiedades físicas y químicas diferentes: Suelo 1, colectado en Jiutepec, Morelos, y de textura arcillosa (Vertisol); Suelo 2, colectado en el Campo Experimental el Horno Chapingo, de textura franca; y Suelo 3, fue colectado en San Vicente, México, de textura arenosa. Se utilizaron las siguientes especies: alfalfa (*Medicago sativa*, L.), Cebada (*Hordeum vulgare* L.) y lechuga (*Lactuca sativa* L.), de las cuales se sembraron 25 semillas por maceta. Se utilizó un diseño experimental factorial incompleto de 3 x 3 x 3 x 6, distribuido en bloques al azar; se emplearon tres suelos, tres cultivos, tres repeticiones y seis tratamientos (0, 10, 20, 30, 40 y 50 ppm de A.B.S.), lo que dio un total de 162 unidades experimentales (macetas de 5 kg cada una), las cuales se distribuyeron en bloques al azar en el invernadero.

El experimento tuvo una duración de cuatro meses, durante los cuales se realizaron observaciones diariamente. La aplicación de detergentes se efectuó cada 15 días. Antes de cada adición de surfactantes se midió la altura, con el fin de obtener un registro mensual sobre el efecto de los detergentes en el crecimiento de las plantas; al finalizar el experimento, se cosecharon las plantas y se registró su rendimiento, tanto en peso fresco como en seco. Los valores obtenidos se procesaron estadísticamente.

RESULTADOS Y DISCUSION

De acuerdo con las observaciones realizadas durante las primeras semanas del experimento, se observó que en los tres cultivos y en los tres suelos, la mayoría de las dosis de detergentes, respecto al testigo, estimularon el crecimiento de las plantas en los primeros 30 días (Cuadros 1, 2 y 3), sobre todo en las concentraciones más altas, a excepción del Suelo 2, tanto en cebada como en alfalfa, donde las mejores dosis fueron 0 y 10 ppm, y 20 y 10 ppm, respectivamente; las mayores dosis de A.B.S. produjeron efectos negativos (Cuadros 1, 2 y 3).

Después de 45 días, los efectos positivos de los detergentes en los tres cultivos fueron menos claros, ya que el desarrollo de las plantas en la mayoría de los tratamientos tendió a la homogeneidad. Sin embargo, al

Cuadro 1. Efectos de seis dosis de surfactantes aniónicos en el crecimiento de *Medicago sativa* L.

| ABS | 1 Med ^z | ABS | 2 Med | ABS | 3 Med | ABS | 4 Med | ABS | 5 Meds |
|---------|--------------------|------|---------|------|---------|------|---------|------|---------|
| Suelo 1 | | | | | | | | | |
| ppm | cm | ppm | cm | ppm | cm | ppm | cm | ppm | cm |
| 0 | 11.30 A | 0 | 13.83 A | 0 | 16.00 A | 40 | 16.16 A | 10 | 18.93 A |
| 10 | 11.66 A | 10 | 13.83 A | 10 | 16.00 A | 30 | 16.33 A | 0 | 19.10 A |
| 20 | 11.93 A | 20 | 14.50 A | 20 | 16.00 A | 20 | 17.33 A | 40 | 19.26 A |
| 30 | 12.53 A | 30 | 14.66 A | 40 | 16.10 A | 10 | 17.66 A | 50 | 19.66 A |
| 40 | 12.53 A | 40 | 15.00 A | 30 | 16.16 A | 50 | 17.66 A | 20 | 20.26 A |
| 50 | 15.20 B | 50 | 15.83 A | 50 | 16.93 A | 0 | 18.33 A | 30 | 20.26 A |
| Anova | ** | N.S. | | N.S. | | N.S. | | N.S. | |
| Suelo 2 | | | | | | | | | |
| 50 | 10.16 A | 0 | 12.33 A | 30 | 14.13 A | 50 | 16.33 A | 50 | 17.93 A |
| 40 | 10.20 A | 10 | 15.33 B | 50 | 14.33 A | 20 | 17.00 A | 30 | 18.33 A |
| 0 | 10.46 A | 20 | 16.00 B | 0 | 15.16 A | 30 | 17.00 A | 20 | 18.40 A |
| 30 | 10.66 A | 30 | 16.00 B | 20 | 15.66 A | 40 | 17.66 A | 0 | 19.33 A |
| 10 | 12.20 A | 40 | 16.00 B | 40 | 15.66 A | 0 | 18.00 A | 40 | 19.63 A |
| 20 | 12.20 A | 50 | 16.00 B | 10 | 15.66 A | 10 | 18.00 A | 10 | 20.33 A |
| Anova | N.S. | ** | | N.S. | | N.S. | | N.S. | |
| Suelo 3 | | | | | | | | | |
| 0 | 10.33 A | 0 | 13.00 A | 0 | 14.93 A | 40 | 15.83 A | 40 | 18.53 A |
| 20 | 10.53 A | 20 | 13.20 A | 20 | 15.66 A | 20 | 16.00 A | 30 | 18.60 A |
| 10 | 11.60 A | 10 | 13.23 A | 30 | 15.23 A | 30 | 16.33 A | 50 | 18.86 A |
| 30 | 11.76 A | 30 | 13.23 A | 40 | 15.23 A | 10 | 16.66 A | 0 | 19.16 A |
| 50 | 12.10 A | 40 | 13.33 A | 10 | 15.36 A | 0 | 17.83 A | 20 | 19.33 A |
| 40 | 12.33 A | 50 | 13.66 A | 50 | 15.43 A | 50 | 18.00 A | 10 | 20.50 A |
| Anova | N.S. | N.S. | | N.S. | | N.S. | | N.S. | |

z) Valores seguidos de la misma letra son estadísticamente iguales.

** Diferencia significativa a 1%.

N.S. = No significativa.

ABS = Alkil bencen sulfonato.

Med = medición.

analizar las últimas cuatro mediciones, se observó que en la alfalfa, en la mayoría de las mediciones para los Suelos 1 y 3, el mayor crecimiento correspondió a la dosis de 50 ppm. En el Suelo 2 esta dosis fue la peor; el mayor crecimiento se obtuvo con la dosis de 10 ppm (Cuadros 1, 2 y 3). Estos resultados se deben a que tanto el suelo arcilloso como el arenoso, son bajos en fósforo asimilable, por lo que probablemente, la alfalfa absorbió el P

de los detergentes. Además de que el suelo del estado de Morelos presenta alta retención de P (Palacios *et al.*, 1986).

Respecto a la lechuga, el efecto de los detergentes en el diámetro de las plantas fue semejante al de la alfalfa, donde tanto en el Suelo 1 como en el 3, en la mayoría de las mediciones, se observó que los detergentes estimularon el crecimiento. Los mayores

rendimientos se obtuvieron en la dosis de 50 ppm, a excepción del Suelo 2, donde a pesar de que los detergentes estimularon el crecimiento, los resultados fueron muy heterogéneos (Cuadros 1, 2 y 3).

La cebada fue el cultivo más afectado por los detergentes en los tres suelos; en los Suelos 1 y 2 los efectos negativos aumentaron con la concentración; mientras que en el Suelo

3, aunque el crecimiento de la cebada también se vió afectado, la respuesta fue heterogénea (Cuadros 1, 2 y 3).

A los resultados obtenidos de las cinco mediciones en los tres cultivos y en los tres suelos, se les realizó un análisis de varianza a 99% de confiabilidad, así como una prueba de Tukey. Se obtuvieron los siguientes resultados: para la alfalfa únicamente se

Cuadro 2. Efectos de seis dosis de surfactantes aniónicos en el crecimiento de *Lactuca sativa* L.

| ABS | 1 Med ^z | ABS | 2 Med | ABS | 3 Med | ABS | 4 Med | ABS | 5 Med |
|----------------|--------------------|------|---------|------|----------|------|-----------|------|----------|
| Suelo 1 | | | | | | | | | |
| ppm | cm | ppm | cm | ppm | cm | ppm | cm | ppm | cm |
| 0 | 8.93 A | 40 | 14.00 A | 10 | 14.33 A | 0 | 15.16 A | 0 | 16.00 A |
| 50 | 9.26 A | 10 | 14.33 A | 0 | 14.63 A | 10 | 15.66 AB | 10 | 16.16 A |
| 10 | 11.16 B | 0 | 14.66 A | 30 | 15.16 AB | 20 | 15.90 AB | 20 | 16.40 A |
| 20 | 11.20 B | 20 | 14.66 A | 20 | 15.33 AB | 30 | 16.16 ABC | 30 | 16.66 A |
| 30 | 11.43 B | 50 | 15.00 A | 40 | 15.73 AB | 40 | 16.66 BC | 40 | 17.00 AB |
| 40 | 11.53 B | 30 | 16.00 A | 50 | 17.06 B | 50 | 17.50 C | 50 | 18.00 B |
| Anova | ** | N.S. | | ** | | ** | | ** | |
| Suelo 2 | | | | | | | | | |
| 0 | 10.06 A | 0 | 15.66 A | 30 | 15.60 A | 0 | 16.50 A | 0 | 16.33 A |
| 10 | 10.50 A | 10 | 15.66 A | 20 | 15.90 A | 10 | 16.50 A | 10 | 16.66 A |
| 50 | 10.80 A | 20 | 16.00 A | 0 | 16.00 A | 30 | 16.83 A | 30 | 17.66 A |
| 20 | 11.33 A | 30 | 16.00 A | 40 | 16.10 A | 40 | 16.83 A | 40 | 17.66 A |
| 30 | 11.43 A | 40 | 16.50 A | 10 | 16.33 A | 50 | 17.33 A | 50 | 17.66 A |
| 40 | 11.53 A | 50 | 16.66 A | 50 | 16.60 A | 20 | 17.66 A | 20 | 18.00 A |
| Anova | N.S. | N.S. | | N.S. | | N.S. | | N.S. | |
| Suelo 3 | | | | | | | | | |
| 0 | 9.93 A | 40 | 14.43 A | 10 | 15.00 A | 0 | 15.50 A | 0 | 16.00 A |
| 10 | 10.13 A | 30 | 14.56 A | 30 | 15.06 A | 20 | 16.16 A | 10 | 16.50 A |
| 50 | 10.50 A | 50 | 14.70 A | 0 | 15.33 A | 10 | 16.33 A | 20 | 16.50 A |
| 20 | 10.90 A | 0 | 15.00 A | 40 | 15.40 A | 30 | 16.33 A | 30 | 16.66 A |
| 40 | 11.86 A | 10 | 15.00 A | 20 | 15.43 A | 40 | 16.33 A | 40 | 17.00 A |
| 30 | 12.00 A | 20 | 15.33 A | 50 | 15.86 A | 50 | 16.66 A | 50 | 17.16 A |
| Anova | N.S. | N.S. | | N.S. | | N.S. | | N.S. | |

z) Valores seguidos de la misma letra son estadísticamente iguales.

** Diferencia significativa a 1%.

N.S. = No significativa.

ABS = Alkil bencen sulfonato.

Med = medición.

Cuadro 3. Efectos de seis dosis de surfactantes aniónicos en el crecimiento de *Hordeum vulgare* L.

| ABS 1 Med ^z | | ABS 2 Med | | ABS 3 Med | | ABS 4 Med | | ABS 5 Med | |
|------------------------|---------|-----------|---------|-----------|-----------|-----------|---------|-----------|---------|
| Suelo 1 | | | | | | | | | |
| ppm | cm | ppm | cm | ppm | cm | ppm | cm | ppm | cm |
| 50 | 32.33 A | 50 | 39.00 A | 50 | 44.76 A | 50 | 46.33 A | 50 | 45.50 A |
| 40 | 33.66 A | 40 | 42.66 A | 30 | 47.83 A | 40 | 50.00 A | 40 | 49.00 A |
| 30 | 34.33 A | 0 | 43.33 A | 40 | 48.33 A | 30 | 50.33 A | 30 | 50.00 A |
| 0 | 36.00 A | 30 | 45.66 A | 20 | 51.16 A | 20 | 53.33 A | 20 | 53.50 A |
| 20 | 37.33 A | 10 | 48.00 A | 0 | 51.66 A | 0 | 57.00 A | 10 | 56.50 A |
| 10 | 38.33 A | 20 | 49.00 A | 10 | 52.33 A | 10 | 57.00 A | 0 | 57.00 A |
| Anova | N.S. | N.S. | | N.S. | | N.S. | | N.S. | |
| Suelo 2 | | | | | | | | | |
| 40 | 30.33 A | 50 | 40.66 A | 50 | 42.66 A | 50 | 45.66 A | 50 | 27.66 A |
| 30 | 32.00 A | 30 | 43.33 A | 40 | 43.00 A | 30 | 46.33 A | 40 | 28.66 A |
| 20 | 33.33 A | 10 | 44.66 A | 30 | 43.16 A | 0 | 47.33 A | 30 | 29.33 A |
| 50 | 33.66 A | 0 | 45.66 A | 0 | 46.16 A | 20 | 47.66 A | 0 | 30.66 A |
| 10 | 34.33 A | 20 | 45.66 A | 2 | 0 46.66 A | 40 | 49.16 A | 20 | 33.00 A |
| 0 | 37.00 A | 40 | 47.00 A | 10 | 48.93 A | 10 | 53.50 A | 10 | 34.00 A |
| Anova | N.S. | N.S. | | N.S. | | N.S. | | N.S. | |
| Suelo 3 | | | | | | | | | |
| 0 | 31.00 A | 10 | 41.66 A | 40 | 42.60 A | 40 | 43.16 A | 50 | 43.66 A |
| 10 | 31.66 A | 50 | 42.33 A | 50 | 43.00 A | 50 | 44.33 A | 40 | 45.66 A |
| 30 | 31.66 A | 0 | 43.00 A | 10 | 44.00 A | 30 | 46.50 A | 10 | 48.00 A |
| 50 | 33.00 A | 40 | 43.00 A | 30 | 45.33 A | 10 | 46.66 A | 30 | 48.66 A |
| 20 | 33.66 A | 30 | 44.66 A | 0 | 45.66 A | 0 | 48.33 A | 0 | 49.33 A |
| 40 | 34.00 A | 20 | 46.00 A | 20 | 47.33 A | 20 | 49.00 A | 20 | 51.00 A |
| Anova | N.S. | N.S. | | N.S. | | N.S. | | N.S. | |

z) Valores seguidos de la misma letra son estadísticamente iguales.

N.S. = No significativa.

ABS = Alkil bencen sulfonato.

Med = medición.

presentaron diferencias significativas en los Suelos 1 y 2, en las dosis de 50 y 0 ppm en las mediciones 1 y 2 respectivamente (Cuadro 1). En el caso de la lechuga, se presentaron diferencias significativas en el Suelo 1 en la 1a, 3a, 4a y 5a mediciones, donde, en la mayoría de éstas, las concentraciones superiores a 30 ppm estimularon significativamente el crecimiento de la lechuga (Cuadro 2). En la cebada no se presentaron diferencias significativas en ningún suelo ni en ningún tratamiento (Cuadro 3).

En general, aunque existieron algunos efectos de los detergentes en las especies utilizadas, éstos no fueron tan claros en el conocimiento como los daños fisiológicos (clorosis), los cuales aumentaron a medida que la concentración de A.B.S. era mayor. Las observaciones de crecimiento en este trabajo coinciden con las realizadas por Rivera (1970), quien el trabaja con siete cultivos en invernadero, entre los que se encontraban alfalfa, lechuga y cebada, encontró que los detergentes, en concentraciones de hasta 70

Cuadro 4. Efecto de seis dosis de surfactantes aniónicos en el rendimiento de alfalfa, lechuga y cebada.

| Planta | ABS | 1 Med ^x | ABS | 2 Med | ABS | 3 Med |
|---------|-----|--------------------|-----|---------|-----|---------|
| Alfalfa | 0 | 8.76 a | 50 | 7.16 a | 20 | 8.70 a |
| | 30 | 10.20 a | 0 | 8.50 a | 0 | 9.63 a |
| | 10 | 10.50 a | 40 | 8.90 a | 30 | 10.23 a |
| | 20 | 10.93 a | 30 | 9.66 a | 50 | 10.66 a |
| | 40 | 11.23 a | 20 | 9.73 a | 10 | 10.80 a |
| | 50 | 11.26 a | 10 | 11.00 a | 40 | 11.03 a |
| Anova | | N.S. | | N.S. | | N.S. |
| Lechuga | 40 | 14.93 a | 40 | 10.60 a | 30 | 13.76 a |
| | 30 | 15.26 a | 50 | 12.46 a | 10 | 15.40 a |
| | 0 | 15.73 a | 10 | 13.10 a | 0 | 15.73 a |
| | 10 | 17.26 a | 0 | 13.63 a | 40 | 19.00 a |
| | 50 | 18.43 a | 20 | 14.40 a | 20 | 9.36 a |
| | 20 | 20.76 a | 30 | 15.10 a | 50 | 20.10 a |
| Anova | | N.S. | | N.S. | | N.S. |
| Cebada | 40 | 11.60 a | 10 | 10.66 a | 20 | 9.20 a |
| | 20 | 12.13 a | 20 | 11.00 a | 30 | 10.23 a |
| | 30 | 12.33 a | 30 | 11.26 a | 10 | 12.40 a |
| | 10 | 15.93 a | 40 | 12.30 a | 40 | 12.50 a |
| | 50 | 16.00 a | 50 | 12.40 a | 0 | 13.30 a |
| | 0 | 16.93 a | 0 | 13.83 a | 50 | 13.96 a |
| Anova | | N.S. | | N.S. | | N.S. |

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

N.S. = No significativa.

ABS = Alkil bencen sulfonato.

Med = medición.

ppm de A.B.S., no provocaron efectos negativos en las plantas, sobre todo en alfalfa y lechuga, que produjeron los mayores rendimientos. Los resultados obtenidos en esta investigación coinciden con los encontrados en invernadero en lechuga y cebada por Fink *et al.* (1970) quien menciona que dosis de hasta 40 ppm de A.B.S. estimulaban el crecimiento.

Los resultados de peso seco de los tres cultivos, a excepción de la lechuga, indican que los mayores rendimientos se obtuvieron en el Suelo 1 (con problemas de retención de fósforo), tal vez porque la cebada y la alfalfa absorbieron el fósforo de los detergentes (Cuadro 3). En este suelo, las mejores dosis de A.B.S., en los tres cultivos, fueron: 50 ppm para alfalfa, 20 ppm para lechuga y 0 ppm para cebada; sin embargo, en el Suelo 1, a excepción de la cebada, los detergentes favorecieron el rendimiento de las especies utilizadas (Cuadro 3). En el Suelo

2, se obtuvieron los menores rendimientos en los tres cultivos y, aparentemente, los detergentes afectaron más a las plantas; no obstante, las mejores dosis de A.B.S. fueron: 10, 30 y 0 ppm para alfalfa, lechuga y cebada, respectivamente (Cuadro 3). En el Suelo 3 (arenoso y pobre en materia orgánica, nitrógeno y fósforo) también se notó un efecto positivo de los detergentes, los cuales, al igual que en el Suelo 1, fueron asimilados por las plantas (Cuadro 3); las mejores dosis de A.B.S. fueron 40, 50 y 50 ppm, para alfalfa, lechuga y cebada, respectivamente. Sin embargo, de acuerdo con el análisis de varianza, aunque hubo algunas diferencias en cuanto a rendimiento en materia seca, éstas no son significativas (Cuadro 3). Las observaciones anteriores, y los datos de crecimiento en general, indican un efecto positivo de los detergentes en el desarrollo de las plantas. Sin embargo, el análisis estadístico de los efectos de los surfactantes en las cuatro variables (tipo de suelo, cultivo, tratamientos y repeticiones) que indican que no hubo diferencias significativas entre las variables.

CONCLUSIONES

1. La mayoría de las dosis de detergentes estimularon el crecimiento de los tres cultivos durante los primeros 45 días. Sin embargo, posteriormente se observaron severas clorosis.
2. Se observaron ciertas diferencias significativas en el crecimiento de alfalfa y lechuga, que indican un efecto positivo de los detergentes.
3. Respecto al rendimiento, los efectos son menos claros, ya que estas diferencias no son significativas.

AGRADECIMIENTOS

A los Biólogos Lucía Rodríguez Domínguez y Humberto Núñez Cardona por el apoyo en el trabajo experimental y en la revisión del manuscrito.

LITERATURA CITADA

- ALHAJJAR, B.J., J.M. HERKIN, y G. CHESTERS. 1989. Detergent formula and characteristics of waste water in septic tanks. *J. Wat. Poll. Cont. Fed.* 61.

- BOGAN, R.H. and C.N. SAWYER. 1956. Biochemical degradation of sintetic detergents. *Sewage and Industrial Wastes* 28: 637-643.
- EPA. 1988. Methods for chemical analysis of water and wastes methods development and quality assurance. Res Lab. Mac. Env. Res. Cent. Cinc. Ohio, USA.
- FEDERICO, L.G. 1965. Syntetic detergents and agriculture land Rev. Ital. Sost. Grasse 45: 108-115.
- FINK, D.H., G.H. THOMAS, and W.J. MEYER. 1970. Adsorption of anionic detergents by soils. *J. Wat. Poll. Cont. Fed.* 42: 165-271.
- FRANCO, A. C.T., G. GASPAS, V.D. ARIVAL y S.P. JORGE. 1988. Emulsoes e borras (Part. 2). Tensioactivas Preventores de Emulsao. B. Tc. PETROBRAS V. 31(2): 104-105.
- JUAREZ C., M. 1971. Efecto de los componentes de las aguas negras (Boro y A.B.S.) en el desarrollo de la lechuga y el frijol bajo condiciones de invernadero. Tesis de Maestría. Colegio Postgraduados, Chapingo, Méx.
- KLEIN, S.A., D. JENKINS, and P.H. McGAUHEY. 1962. Travel of synthetic detergents. *Sec. Ann. Report. Sanitary. Eng. Rts. Lab. Univ. of Cal. Berkeley.*
- LEMKE, A.E., and D.I. MOUNT. 1963. Some effects of alkylbenzene sulfonate on the bluegill *Lepomis macrochirus*. *Trans. Amer. Fish. Soc.* 92: 372.
- MALONEY, T.E. 1966. Detergent phosphorous effect on alge. *J. Wat. Poll. Cont. Fed.* 38: 38-45.
- MENDEZ G., T. 1982. Estudio sobre la contaminación de los suelos agrícolas del valle del Mezquital, Hgo., por A.B.S., boro y metales pesados por el uso de aguas negras de la Ciudad de México. Tesis profesional. Biología, Fac. de Ciencias, UNAM.
- MENDEZ G., T. R. GUAJARDO V. y L. HERNANDEZ H. Efecto en los suelos del D.D.R., 063 por el efecto de detergents, boro, grasas y aceites presentes en las aguas residuales de la zona metropolitana de la Ciudad de México. pp. 44-45. In: 1er. Simp. Nal. Deg. del Suelo. Inst. de Geol. UNAM.
- MURTI, G.S., V.V. VOLK, and K.L. JACKSON. 1966. Soil adsorption of linear alkylate sulfonate. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 30: 685-698.
- PALACIOS M., S.; C. SALINAS Ch. y K. SHIMADA M. 1986. Incremento en el crecimiento y en la absorción de fósforo en cebolla (*Allium cepa* L.), como respuesta a la micorriza vesículo-arbuscular, en un suelo de origen volcánico. *Rev. Lat-amer. Microbiol.* 28: 303-311.
- PICKERING, Q.H., and T.O. THATCHER. 1970. The crhonic toxicity of linear alkylate sulfonat (LAS) to *Pimephales promelas* Raf. *J. Wat Poll. Cont. Fed.* 42, No. 2.
- PITTER, P. 1966. Degradable pollutants a study of the new detergents. Third Inst. Cong. on Water Pollution Res. Form. Disc. paper 1-16. Munich.
- RIVERA G., F. 1970. Efecto del detergente presente en las aguas de riego sobre el desarrollo de siete cultivos bajo condiciones de invernadero. Tesis de Maestría, Colegio de Postgraduados, Chapingo, Méx.
- ROBECK, G.G., J.H. COHEN, W.T. SAYERS, and R.L. WOODWARD. 1963. Degradation of A.B.S., and other organics in insaturated soils. *J. Wat Poll. Cont Fed.* 35: 1225-1236.

**EFICIENCIA DE LA EVAPOTRANSPIRACION EN ALGODONERO Cv.
LAGUNA 89 BAJO DIFERENTES NIVELES DE HUMEDAD EN EL SUELO**

Evapotranspiration Efficiency in Cotton cv.
Laguna 89 Under Different Soil Moisture Levels

Claudio Godoy Avila

CIFAP-Región Lagunera, Apartado Postal 247,

Palabras clave: Eficiencia de la evapotranspiración, Requerimientos de agua, Intervalos de riego, Disponibilidad de agua.

Index words: Evapotranspiration efficiency, Water requirements, Irrigation interval, Water availability.

RESUMEN

En la Comarca Lagunera, Coahuila, los volúmenes de agua aplicados al algodón están muy por encima de sus requerimientos de agua, esto aunado a malas prácticas de manejo, ocasionan que se obtengan rendimientos muy bajos. Lo anterior se refleja en un valor de la eficiencia de la evapotranspiración a nivel regional de 0.073 kilogramos de fibra por metro cúbico de agua aplicada, lo cual se considera muy bajo.

Durante 1989 se desarrolló un trabajo cuyo principal objetivo fue el de conocer la eficiencia de la evapotranspiración para el algodón y si esta relación puede cambiarse con diferentes niveles de disponibilidad de agua en el suelo. Los factores estudiados fueron: a) fechas de inicio de aplicación del primer riego de auxilio, con tres niveles; a

los 55 (inicio de floración), 67 (inicio de crecimiento de bellotas) y 74 días después de la siembra (dds) y b) intervalos de riego después de la aplicación del primer riego, con tres niveles: cada dos semanas, cada tres semanas y sin aplicación de riegos.

Se encontró que la eficiencia de la evapotranspiración en los tratamientos estudiados tuvo un comportamiento lineal. Su valor fue de 1.84 kilogramos de materia seca total aérea por m³ de agua usada cuando se consideraron todos los tratamientos, y varió de 1.39 a 2.3 kg m⁻³; es decir, los tratamientos de riego afectaron el valor de la eficiencia de la evapotranspiración.

SUMMARY

In the cotton crop at Comarca Lagunera, Coahuila, the amount of water applied is higher than the crop water requirements. This fact, together with inefficient management practices are responsible for low cotton yields; this is reflected in a evapotranspiration efficiency of 0.073 kilograms of fibre per cubic meter of water at regional level which is considered to be very low.

In 1989 a study was conducted which main objective was to determine cotton evapotranspiration efficiency and to know if this relationship can be changed under

Recibido 3-93.

different soil moisture availability. The study consisted of three application dates for the first relief irrigation, these were: 55 (flowering), 67 (boll growth) and 74 days after sowing (das) and, three irrigation intervals after the application of the first irrigation: every two weeks, every three weeks and no water application.

It was found that, the evapotranspiration efficiency in the treatments was linear. When all treatments were considered the value was 1.84 kilograms of aerial dry matter per cubic meter of water used and ranged from 1.39 to 2.3 kg/m³, that is the irrigation treatments affected the evapotranspiration efficiency.

INTRODUCCION

La eficiencia en el uso del agua (EUA) en cualquier cultivo puede expresarse como la producción por unidad de transpiración (T) o por unidad de evapotranspiración (ET); en donde la producción puede ser materia seca total o materia seca de la parte económica (Tanner, 1981). El primer intento analítico para conocer esta relación lo hizo De Witt (1958), quien después de revizar estudios realizados en el campo y en lisímetros, mostró que para climas secos y alta radiación solar, la producción y transpiración se relacionaron de acuerdo con $Y/T=k/E_0$; donde Y es la materia seca total (masa aérea), T es la transpiración total del cultivo (masa aérea), K es un factor que expresa la relación existente entre el clima y la especie, y E₀ es la evaporación promedio diaria (mm/día).

Varios autores (Tanner, 1981; Walker, 1986) han establecido que la producción por unidad de transpiración, conocida como eficiencia de transpiración, es una mejor medición del comportamiento de la planta que la producción por unidad de evapotranspiración, la cual se conoce como eficiencia de la evapotranspiración. Debido a que la eficiencia de la transpiración elimina al agua consumida a través de la evaporación y que en condiciones de campo es difícil separar esta pérdida, la eficiencia de evapotranspiración se constituye como una valiosa herramienta para evaluar la influencia en la modificación de la evaporación y el control de malezas en la eficiencia en el uso del agua, en combinación con el comportamiento de la planta; más sin embargo, ésta será una

relación más variable que la eficiencia de transpiración.

En función de lo anterior se desarrolló un trabajo cuyo objetivo principal fue el de determinar la relación entre la producción de materia seca y la evapotranspiración (eficiencia de evapotranspiración) y observar si esta relación puede cambiarse con diferentes niveles de disponibilidad de humedad en el suelo.

MATERIALES Y METODOS

Este estudio se realizó durante 1989 en el Centro de Investigaciones Forestales y Agropecuarias (CIFAP) de la Comarca Lagunera (24°30' latitud norte, 103°40' longitud oeste). Los factores estudiados fueron fechas de aplicación del primer riego de auxilio, con tres niveles: a los 55, 67 y 74 días después de la siembra (dds), e intervalos de riego después de la aplicación del primero, con tres niveles: cada dos semanas, cada tres semanas y sin aplicación de riegos. Los nueve tratamientos se establecieron en un diseño de bloques al azar con arreglo de parcelas divididas; en la parcela principal se tuvieron las fechas del primer riego de auxilio y en la subparcela los tres intervalos de riego.

La fecha de siembra fue el 5 de abril se trabajó con algodón (*Gossypium* sp. L.) cv. Laguna 89, el cual se sembró en camas de 1.60 m de ancho con dos hileras cada una. El número de riegos, así como la fecha de aplicación de cada uno de los tratamientos estudiados, se muestran en el Cuadro 1.

Para la determinación de la evapotranspiración (ET), en todas las combinaciones estudiadas se colocaron tubos de aluminio para el acceso de la sonda de neutrones, éstos se instalaron en el área central de cada parcela y el contenido de agua en el suelo se midió semanalmente durante la estación de crecimiento y a cuatro profundidades, en incrementos de 30 cm.

La ET se calculó usando la siguiente fórmula:

$$ET = (A_1 - A_2) (DA) (Pr)$$

Cuadro 1. Fecha de aplicación y número de riegos en nueve tratamientos en algodón cv. Laguna 89.

| Inicio | Intervalo | Trata- miento | Riegos de auxilio | | | | Número Quinto | riegos |
|-------------------|-----------|------------------|-------------------|----------|----------|----------|------------------|--------|
| | | | Primero | Segundo | Tercero | Cuarto | | |
| Días ^z | Semanas | | | | | | | |
| 55 | 2 | 1 | Mayo 30 | Junio 15 | Julio 3 | Julio 17 | Julio 30 | 5 |
| 55 | 3 | 2 | Mayo 30 | Junio 25 | Julio 13 | Agosto 3 | | 4 |
| 55 | 4 | 3 | Mayo 30 | | | | | 1 |
| 67 | 2 | 4 | Junio 12 | Junio 27 | Julio 13 | Julio 24 | | 4 |
| 67 | 3 | 5 | Junio 12 | Julio 3 | Julio 26 | | | 3 |
| 67 | 4 | 6 | Junio 12 | | | | | 1 |
| 74 | 2 | 7 | Junio 19 | Julio 3 | Julio 17 | Julio 30 | | 4 |
| 74 | 3 | 8 | Junio 19 | Julio 13 | Agosto 4 | | | 3 |
| 74 | 4 | 9 | Junio 19 | | | | | 1 |

^zDespués de la siembra.

donde:

ET = Evapotranspiración real (cm)

A₁ = Humedad anterior (%)

A₂ = Humedad actual (%)

DA = Densidad aparente (g/cm³)

Pr = Profundidad de raíces (cm)

Treinta días después de la siembra, y con el propósito de conocer la velocidad de acumulación de materia seca, cada semana se muestreó un metro cuadrado en los tratamientos y en cuatro repeticiones. Las muestras se secaron en una estufa de aire forzado a una temperatura de 65 a 70 °C, por un período de 72 horas y luego se pesaron.

El análisis de los datos se llevó a cabo con el Sistema de Análisis Estadístico (Institute SAS, 1982). Se utilizaron procedimientos STEPWISE, para el desarrollo del modelo para el análisis de regresión lineal, y una prueba de homogeneidad de varianzas, para comparación de estos modelos.

RESULTADOS Y DISCUSION

En la Figura 1 se muestra, para los tres inicios e intervalos de riego, la dinámica de acumulación de materia seca total aérea y la evapotranspiración acumulada a partir de la siembra. Se observa en estas figuras que la velocidad de acumulación de materia seca se empieza a incrementar entre los 45 y 55 cm de la Eo, y disminuye a medida que la fecha de

inicio del primer riego de auxilio fue a los 67 y 74 dds. La velocidad de acumulación de materia seca para los tres intervalos de riego dentro de la misma fecha de inicio de primer riego, fue similar durante los primeros 90 cm de la Eo y a partir de este valor y hasta los 120 cm de la Eo, la acumulación de materia seca se mantuvo en el Tratamiento 1; disminuyó en forma leve en los Tratamientos 2, 4 y 5, fue más alta esta disminución en los Tratamientos 7 y 8, y mucho más drástica en los Tratamientos 3, 6 y 9, en donde se aplicó un solo riego de auxilio. Cabe mencionar que a los 90 cm de la Eo estos tres últimos tratamientos alcanzaron su máximo valor de acumulación de materia seca, mientras que en el resto de los tratamientos se alcanzó a los 120 cm de la Eo. Para establecer si estas diferencias en la velocidad de acumulación de materia seca en función de la evaporación y de días julianos eran o no estadísticamente significativas, se procedió a realizar una prueba de homogeneidad de varianzas, cuyos resultados se muestran en el Cuadro 2.

Existen diferencias altamente significativas cuando se comparan estas relaciones; el comportamiento estadístico de la relación materia seca vs días julianos y materia seca vs evaporación es similar. La tasa de acumulación de materia seca en el Tratamiento 3, con fecha de inicio del primer riego a los 55 dds y sin aplicación posterior de agua, fue estadísticamente diferente y superior a los Tratamientos 1, 2, 4, 5, 7, 8 y 9, los cuales

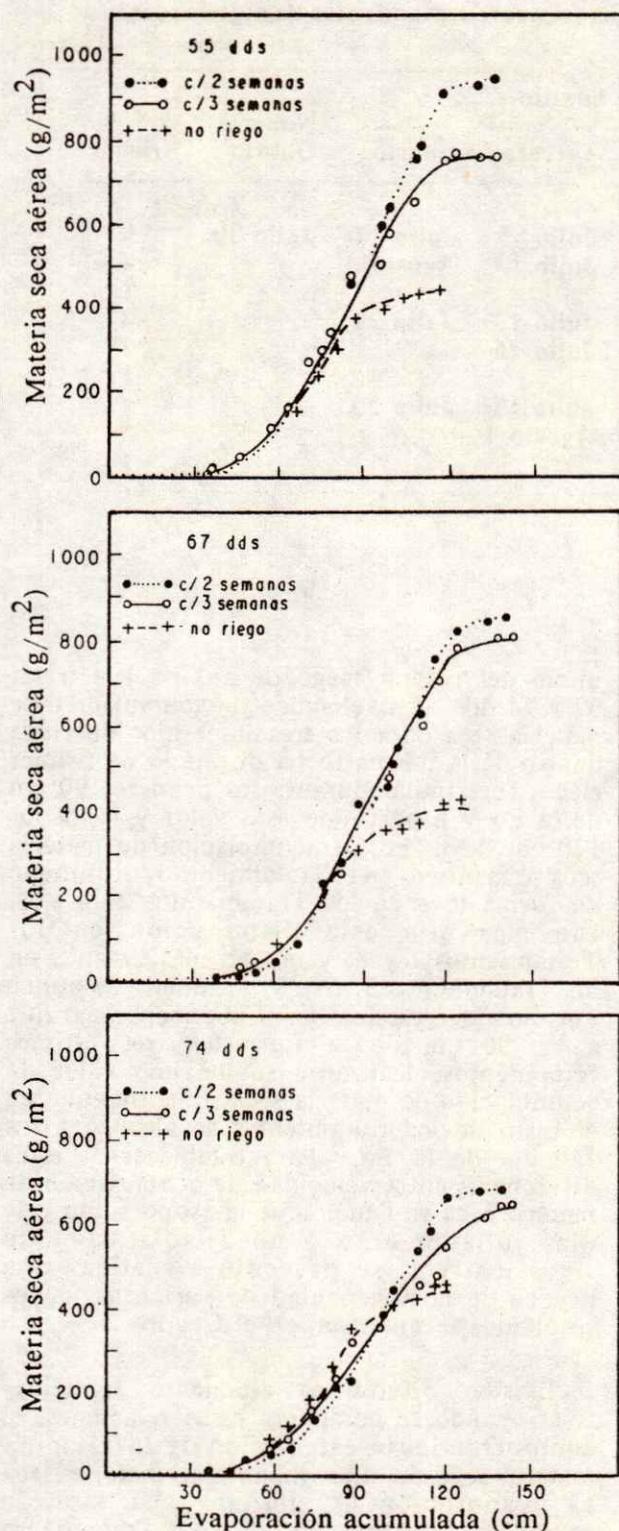


Figura 1. Materia seca aérea para el algodón en función de la evaporación acumulada con inicio de riego a los 55, 67 y 74 días después de la siembra (dds) y tres intervalos de riego.

Cuadro 2. Comparación de la pendiente entre producción de materia seca, días julianos y evaporación (E_0).

| Tratamiento | Materia seca vs | |
|-------------|----------------------|----------------------|
| | Días julianos | Evaporación |
| 1 | 0.093 b ^x | 0.096 b ^x |
| 2 | 0.089 b | 0.091 b |
| 3 | 0.113 a | 0.110 a |
| 4 | 0.090 b | 0.090 b |
| 5 | 0.090 b | 0.089 b |
| 6 | 0.061 c | 0.059 c |
| 7 | 0.091 b | 0.092 b |
| 8 | 0.087 b | 0.088 b |
| 9 | 0.096 b | 0.096 b |

^xValores seguidos con la misma literal son estadísticamente iguales entre sí ($\alpha = 0.01$).

fueron estadísticamente iguales y superiores al Tratamiento 6. Lo anterior indica que adelantar el primer riego de auxilio y luego no aplicar agua, acelera la producción de materia seca más que cuando se retrasa la aplicación del primer riego y se sigue aplicando agua posteriormente.

La Figura 2 muestra la producción de materia seca aérea y el agua consumida (eficiencia de la evapotranspiración) para los tratamientos estudiados en el período floración-cosecha. Cada punto en las regresiones representa esta relación entre dos fechas de muestreo, tomado en intervalos de siete días. Puede observarse que la producción de materia seca de la parte aérea en función de la evapotranspiración real tiene un comportamiento lineal para todos los tratamientos, es decir, todos los puntos dentro de un mismo tratamiento se ajustan a la misma línea recta, lo cual indica un valor de eficiencia de la evapotranspiración constante. Esto coincide con los resultados encontrados en trabajos realizados por Davis (1983), Downey (1972), Hanks y Retta (1980) y Power *et al.* (1973). Las constantes de este modelo, así como el coeficiente de determinación se muestran en el Cuadro 3. Para establecer diferencias estadísticas en el valor de la eficiencia de la evapotranspiración se procedió a realizar una prueba de homogeneidad de varianzas cuyos resultados se muestran en el mismo Cuadro 3. Se encontraron diferencias altamente significativas entre tratamientos en el valor de esta eficiencia. Los tratamientos con riego inicial a los 55 dds y luego riego cada dos y tres semanas y aquellos con riego

inicial a los 67 dds y después riego cada dos semanas, fueron estadísticamente iguales entre sí, y superiores a los Tratamientos 6, 7, 5 y 3, los cuales fueron estadísticamente iguales entre sí; estos últimos tres tratamientos fueron estadísticamente iguales a los Tratamientos 8 y 9.

La eficiencia de la evapotranspiración de los nueve tratamientos, así como el de la combinación de todas, varió de 1.39 a 2.3 kilogramos de materia seca por cada metro cúbico de agua evapotranspirada. Se han calculado valores medios para plantas C₃ (De Witt, 1958; Vaadia, 1986), a las cuales pertenece el algodón, de 1.5 kilogramos de

Cuadro 3. Parámetros del modelo de regresión lineal y coeficiente de determinación para la relación materia seca y agua consumida.

| Tratamiento | a | b ^s | r ² |
|-------------|--------|----------------|----------------|
| 1 | -18.42 | 20.17 a | 0.87 |
| 2 | -27.94 | 22.89 a | 0.96 |
| 3 | -3.19 | 17.35 bc | 0.95 |
| 4 | -35.96 | 23.06 a | 0.96 |
| 5 | -1.09 | 17.52 bc | 0.92 |
| 6 | -8.20 | 18.65 b | 0.89 |
| 7 | -5.05 | 16.81 bc | 0.79 |
| 8 | 1.58 | 14.64 c | 0.93 |
| 9 | 2.41 | 13.94 c | 0.96 |

sValores seguidos con la misma literal son estadísticamente iguales entre sí ($\alpha = 0.01$).

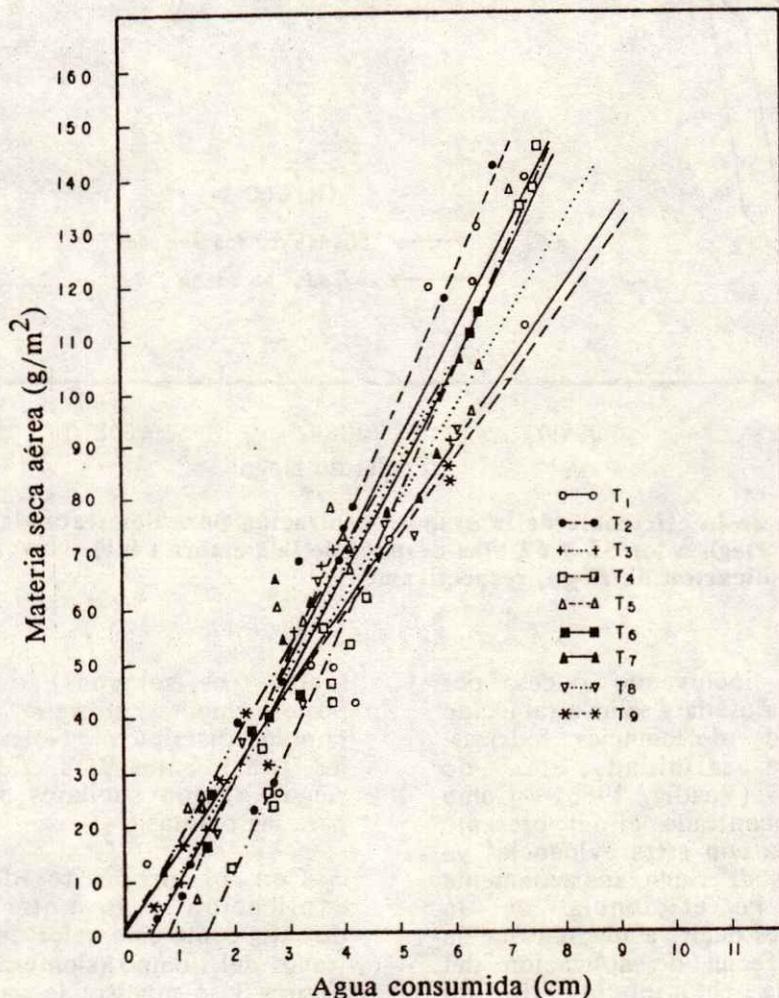


Figura 2. Eficiencia de la evapotranspiración para nueve tratamientos y la combinación de todos en el algodón cv. Laguna 89.

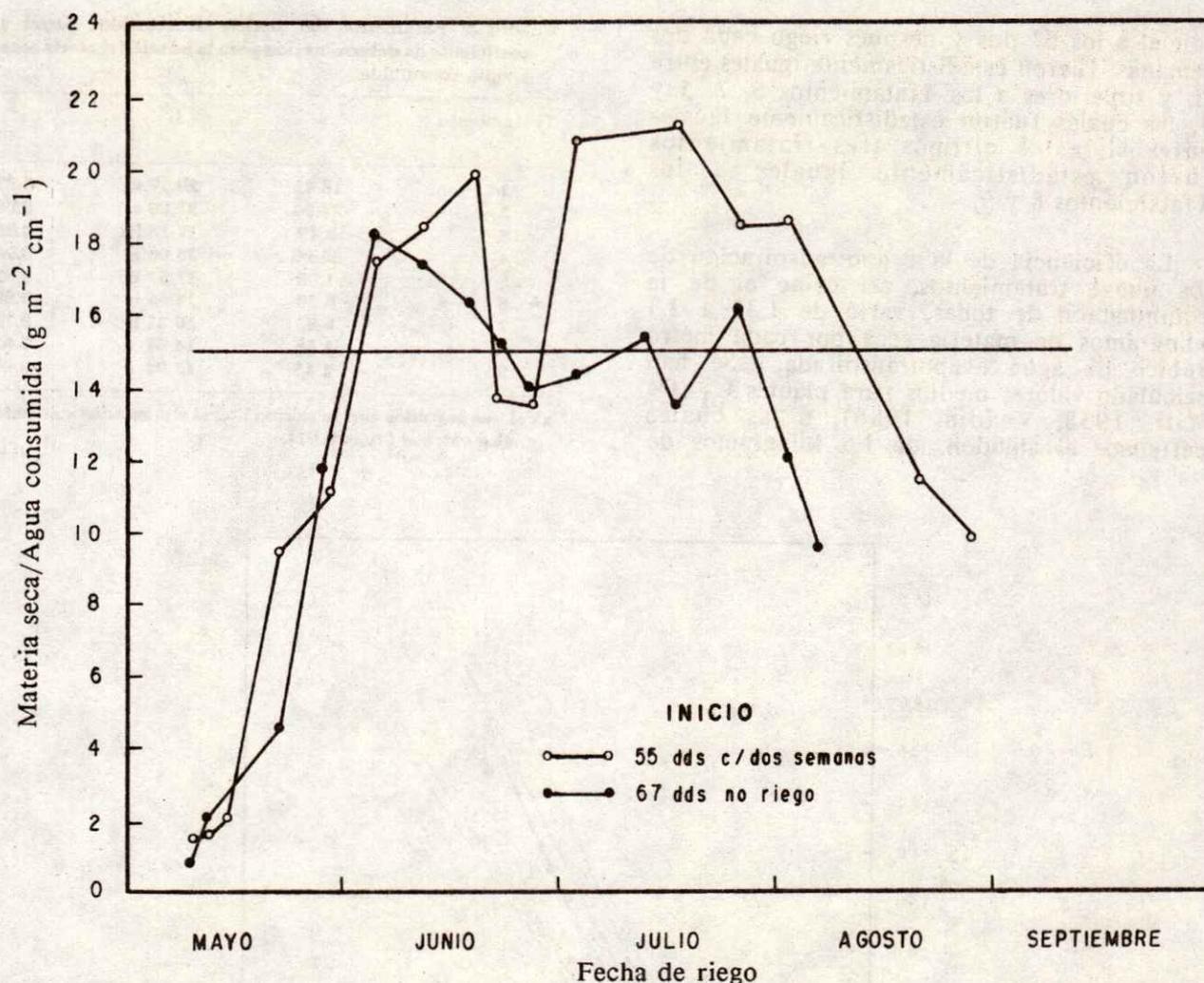


Figura 3. Variación de la eficiencia de la evapotranspiración para dos tratamientos con fecha de inicio del primer riego a los 55 y 67 días después de la siembra (dds) y luego regados cada dos semanas, y sin aplicación de riego, respectivamente.

materia seca total, incluyendo raíces, por metro cúbico de agua usada y se ha establecido que la presencia de deficiencias hídricas, nutricionales, alta salinidad, etc., no modifican este valor (Vaadia, 1986). Como puede verse, lo encontrado en el presente estudio no concuerda con estas evidencias ya que los tratamientos de riego aparentemente están afectando la eficiencia de la evapotranspiración, es decir, a medida que se fue retrasando la fecha de aplicación del primer riego, la eficiencia de la evapotranspiración disminuyó; al mismo tiempo se observó que dentro de una misma fecha de inicio del primer riego, a medida que se retrasó la aplicación de los siguientes riegos

(cada tres semanas) o no se aplicaron posteriormente, el valor de esta eficiencia también disminuyó. Nótese que los valores de los Tratamientos 9, 8, 7, 5 y 3 (con menos riegos) fueron similares al valor encontrado para las plantas C₃.

Con el propósito de encontrar una explicación a lo anterior, es necesario discutir como este valor de eficiencia cambia a través del tiempo (siembra a cosecha). En la Figura 3 se muestra la variación en el valor de la eficiencia de la evapotranspiración desde la siembra hasta la cosecha para los tratamientos con fecha de inicio del primer riego a los 55 dds y luego riego cada dos

semanas, y el de 67 dds sin aplicación de riegos posteriores. Se observa que el valor de esta eficiencia, desde la siembra al inicio de floración, es igual y bajo en los dos tratamientos debido a una baja producción de materia seca y a un alto consumo de agua por evaporación directa del suelo, dado que el cultivo no cubre completamente la superficie del suelo. Posteriormente, en el periodo comprendido entre la primera semana de junio y la tercera semana de julio, en el que la cubierta vegetal se desarrolla y debido a que el agua permanece altamente disponible para las raíces, como es el caso del Tratamiento 1, la cubierta vegetal actúa como una superficie completamente húmeda en donde toda la radiación neta (R_n) se disipa como flujo de calor latente (LE) (Ritchie, 1971; Ritchie *et al.*, 1972) y el agua se pierde principalmente a través de la transpiración de la planta. Durante este periodo la eficiencia de la evapotranspiración fue más alta en el tratamiento 1, cuyos valores estuvieron por encima del ya mencionado para plantas C_3 , tal vez por la compactación del suelo, resultado del pisoteo que se hizo a un lado de las plantas en donde se tomaron las lecturas con la sonda de neutrones, lo cual afectó el desarrollo. Esto se reflejó en un bajo consumo de agua, el cual, al relacionarlo con la materia seca que se produjo en plantas con alta disponibilidad de agua y sin el problema de pisoteo, provocó que esta relación se sobrestimara. En el caso del Tratamiento 9 es necesario señalar que las plantas no cubrieron completamente al suelo ya que se presentaron deficiencias hídricas durante este periodo, por lo cual se considera que si la transpiración y evaporación del suelo no se separan, la eficiencia de la evapotranspiración puede reducirse en 20% cuando se trata de cultivos anuales (Fisher y Turner, 1978). Por otro lado, a partir de la última semana de julio, la eficiencia de la evapotranspiración empezó a disminuir por la pérdida de hojas y de otros órganos de la planta provocada por senescencia o deficiencias hídricas.

Finalmente, se menciona que a medida que la intersección de la relación entre materia seca aérea y la evapotranspiración sea cercana a cero se considera que la relación es más exacta, debido a que el agua perdida por la evaporación directa va siendo menor (Tanner, 1981). En el presente estudio la intersección de la mayoría de los tratamientos fue cercana a cero.

CONCLUSIONES

El comportamiento de la relación entre materia seca aérea y el agua consumida fue lineal, lo cual indica un valor de eficiencia de la evapotranspiración constante.

La eficiencia de la evapotranspiración para el algodón varió de 1.39 a 2.3 kilogramos de materia seca aérea por cada metro cúbico de agua evapotranspirada. Su valor promedio fue de 1.84.

La sobrestimación en los valores de eficiencia de la evapotranspiración, en comparación con el encontrado para las especies C_3 , es atribuible al tipo de muestreo y no al tratamiento de riego. Usar la sonda de neutrones tiene la ventaja de que siempre se muestrea el mismo sitio, pero por la intensidad de los muestreos, se provoca compactación del suelo, lo cual afecta en forma adversa el crecimiento y desarrollo de las plantas alrededor del tubo de aluminio, así como el uso del agua, el cual es menor que el que tienen las plantas muestreadas para conocer la materia seca. Este problema se acentúa en los tratamientos en que se aplican más riegos.

LITERATURA CITADA

- DAVIS, K.D. 1983. Trickle irrigation of cotton in California. pp. 34-38. In: Proceedings of Western Cotton Production Conference Avz 9, 10 y 11. Las Cruces, New Mexico.
- DEWITT, C.T. 1958. Transpiration and crop yields. Versl. Lanabouwk. Onderez. Institute of Biological and Chemical Research on Field Crops and Herbage. Wageningen the Netherlands.
- DOWNEY, L.A. 1972. Water-yield relations for non-forage crops. *J. Irrig. and Drainage* 98: 107-115.
- FISHER, R.A., and N.C. TURNER. 1978. Plant productivity in the arid and semiarid zones. *Ann. Plant Physiology* 29: 277-317.
- HANS, R.J., and A. RETTA. 1980. Water use and yield relations for alfalfa. *Utah Agric. Exp. Stn. Bull* 506.
- POWER, J.F., J.J. BOND, W.A. SELLNER, and H.M. OSNO. 1973. The effect of supplemental water on barley and corn production in a sub humid region. *Agron. J.* 65: 464-467.
- RITCHIE, J.J. 1971. Dryland evaporative flux in a subhumid climate: I. Micrometeorological influences. *Agron. J.* 63: 51-55.
- RITCHIE, J.J., E. BURNETT, and R.C. HENDERSON. 1972. Dryland evaporative flux in subhumid climate: III. Soil water influence. *Agron. J.* 64: 168-173.
- SAS Institute. 1982. SAS user's guide. 1982 edition. Cary North Carolina.
- TANNER, C.B. 1981. Transpiration efficiency of potato. *Agron. J.* 73: 59-64.

VAADIA, J. 1986. The impact of plant stresses on crop yield. pp. 38-42. In: Memorias del Simposio Sobre Sequía México-Israel. Pabellón, Aguascalientes, México.

WALKER, G.K. 1986. Transpiration efficiency of field-grown maize. *Field Crop Res.* 14: 29-38.

RESPUESTA DEL ARROZ AL REGIMEN HIDRICO EN EL VALLE DE APATZINGAN

Rice Response to Water Management in the Valley of Apatzingan

Luis Mario Tapia Vargas y Arcadio Muñoz Villalobos

INIFAP-CIFAP Pacífico Centro
Apartado Postal 41, Apatzingán, Mich.

Palabras clave: Régimen de riego, Producción de arroz.

Index words: Water management, Rice production.

RESUMEN

Dentro de los cultivos básicos, el arroz es la mejor opción que garantiza beneficios económicos al productor regional, sin embargo, el empleo de grandes volúmenes de riego propicia bajos niveles de eficiencia de este recurso, lo que limita la siembra de una mayor superficie. El objetivo de este trabajo fue reducir el volumen de riego al cultivo sin disminuir significativamente el rendimiento. El experimento se estableció en Parácuaro, Mich. en julio de 1991. Se probaron cinco tratamientos: 1) testigo; 2) riego cada dos días; 3) riego cada tres días; 4) nueve riegos de auxilio y tres periodos de inundación y 5) 12 riegos de auxilio y tres periodos de inundación. Los resultados indican que todos los tratamientos redujeron significativamente el volumen de riego en comparación con el testigo regional sin afectar el rendimiento de grano en forma significativa, lo cual produce mayor eficiencia n el uso de agua.

Recibido 4-93.

SUMMARY

Rice is a good choice for the local farmers because it assures financial benefits; however, the use of large volumes of irrigation water causes low levels of efficiency in the utilization of this resource and restricts the possibility to cultivate larger areas. The purpose of this work was to reduce the volumen of irrigation water used without reducing yields.

The experiment was established in Parácuaro, Michoacán on July, 1991. Five treatments were tested: 1. regional control; 2. watering every other day; 3. watering every three days; 4. nine waterings and three flooding periods; and 5. 12 waterings and three flooding periods. Results indicate that in all treatments the water volume used was reduced without significantly reducing yields, this leading to a higher water use efficiency as compared to the control.

INTRODUCCION

En México el cultivo del arroz ocupa el tercer lugar en importancia, dentro del grupo de los cereales, solo superado por el maíz y el trigo; los principales estados productores de arroz a nivel nacional son: Sinaloa, Morelos, Tabasco y Michoacán.

En el estado de Michoacán, la región productora se localiza en el valle de Apatzingán, con 5000 hectáreas sembradas en

los municipios de Parácuaro, Lombardía, Nuevo Urecho y Apatzingán. Las condiciones ecológicas prevalecientes en esta región, permiten la obtención de dos cosechas por año, además de que el cultivo, dentro de los granos básicos, es la mejor alternativa económica para el productor, por su alta productividad y su valor comercial.

El factor que limita la producción del cultivo son las malezas; los factores que limitan el incremento de la superficie sembrada son los altos costos de producción y los altos volúmenes de riego que se aplican al cultivo, ya que permanece más de 90 días inundado y se requieren entre 4.5 y 8.5 m de lámina de agua, dependiendo de su disponibilidad, durante el desarrollo del cultivo.

En este trabajo se tomó como factor de estudio el problema del riego, con los siguientes objetivos:

1. Reducir el volumen de agua aplicado, sin afectar el rendimiento de grano.
2. Determinar el volumen de agua necesario y la frecuencia de riego para obtener alto rendimiento de grano.

REVISION DE LITERATURA

Régimen de riego en el cultivo del arroz.

Las regiones productoras de arroz son cálidas y de lento drenaje, Robles (1978) menciona que el arroz requiere una lámina de agua mayor que la necesitada por otros cereales. La humedad constante del suelo es un factor muy importante, sobretodo en la formación de panoja, floración y maduración del grano.

La inundación del campo de cultivo del arroz le beneficia de varias formas, Ponnaperuna (1982) señala que elimina la sequía, controla las malezas, regula el microclima y proporciona un medio ambiente químico y microbiológico favorable para el desarrollo de las raíces del cultivo.

Manejo de agua en el arroz.

Ortiz (1973) indica que pueden obtenerse altos rendimientos de grano, si el cultivo se somete a un castigo de humedad después que la

planta alcanza el máximo amacollamiento; después de esta etapa de desarrollo, únicamente deberán aplicarse riegos para mantener la humedad, sin inundar el cultivo.

Paredes (1974) menciona que después de la siembra debe drenarse el terreno con riegos ligeros periódicos cada 3-5 días hasta que la nacencia sea uniforme; esta práctica, al contrario de la inundación continua, evita el ataque de enfermedades en la planta.

Requerimientos de riego en el arroz.

Debido a su origen y su sistema de producción el cultivo del arroz requiere altos volúmenes de agua, ya sea mediante precipitación o riego. De acuerdo con Rodríguez y Ruelas (1982) y Adame (1983), en México pocos sitios ofrecen en forma natural el agua necesaria para el cultivo por lo que es necesario el suministro de riego continuo.

En Sinaloa, donde la disponibilidad de agua es limitada, Robles (1978) recomienda la aplicación de 62 cm de riego, con un período de inundación global de 22 días; con ésta técnica se obtiene un rendimiento igual al obtenido con 88 días de inundación global y 250 cm de lámina de agua aplicada.

En el estado de Veracruz se utiliza una lámina de 700 cm de agua en el arroz para un rendimiento de 7.1 t ha⁻¹, la eficiencia en el uso de agua es de 102 g de granza por metro cúbico de agua; el alto consumo de agua restringe el aumento de la superficie anual dedicada al cultivo (Arevalo, 1990).

MATERIALES Y METODOS

El trabajo se estableció en Parácuaro, Mich., en el ciclo primavera-verano de 1991. El clima del lugar es Aw1: cálido subhúmedo, intermedio en humedad, con una precipitación media anual de 800 mm y una altura sobre el nivel del mar de 600 m. El suelo es arcilloso, ligeramente alcalino; con mediana profundidad, alta fertilidad natural y gran consistencia en húmedo, lo que le hace ideal para cultivos como el arroz.

Los tratamientos de estudio se muestran en el Cuadro 1. El tratamiento testigo fue de acuerdo con el manejo en la región: inundación continua desde que la plántula presentó 10 cm de altura, el riego se suspendió a los 25 y 50

Cuadro 1. Tratamientos evaluados en el experimento de riego en arroz. Parácuaro, Mich. 1991.

| Tratamiento | Descripción |
|-------------|--|
| 1 | Testigo regional, inundado todo el ciclo |
| 2 | Riego cada dos días sin inundación |
| 3 | Riego cada tres días sin inundación |
| 4 | Nueve riegos cada 10 días y tres periodos inundado |
| 5 | Doce riegos cada 10 días y tres periodos inundado |

días de la siembra para la aplicación del herbicida y el fertilizante, respectivamente. Los Tratamientos 2 y 3 se sometieron a riegos continuos cada dos y tres días sin inundación, respectivamente.

En los Tratamientos 3 y 4 se manejaron tres periodos de inundación en las siguientes fases de crecimiento: inicio de amacollamiento, floración y llenado de grano, a los 25, 80 y 95 días del cultivo, con una duración de 4, 8 y 8 días, respectivamente.

La siembra se realizó en forma directa, el 20 de julio de 1991. Se utilizó un diseño experimental en bloques al azar con cuatro repeticiones. La parcela experimental consistió en un cuadro de 100 m² separado por calles de 4 m, se cosechó un área central de 1.0 m² como parcela útil.

La fertilización se realizó con la dosis 120-40-0 (N,P₂O₅-K₂O), repartida en dos aplicaciones: en el momento de la siembra la mitad del nitrógeno y todo el fósforo, el resto del nitrógeno al final del amacollamiento. El control de malezas se realizó con Panto (4.0 L ha⁻¹) a los 25 días, complementado con un periodo de inundación de cuatro días en todos los tratamientos.

El riego se aplicó mediante el uso de un sifón de plástico de 4.75 cm de diámetro, se trazaron regaderas centrales y drenes al final de cada parcela experimental. No se realizó la cuantificación del agua drenada.

Las variables registradas fueron: fenología del cultivo, altura de la planta, longitud de la panícula, granos por panoja, peso de 1000 granos, rendimiento de grano, registros climáticos (evaporación del tanque "A" y precipitación), y tiempo de riego.

El análisis de la información consistió en el análisis de varianza de las variables: altura de la planta, longitud de la panoja, rendimiento de grana (ajustado a 14% de humedad). Se obtuvo el volumen y lámina de riego por tratamiento y la eficiencia de uso de agua, expresada de acuerdo con lo asentado por Jasso y Luna (1990). Se obtuvo la función de producción, mediante regresión múltiple, con el rendimiento de grano y el agua aplicada a amacollamiento (X1), gametogénesis (X2), espigamiento (X3) y madurez fisiológica (X4).

RESULTADOS Y DISCUSION

En la Figura 1 se muestran los eventos de precipitación registrados en el sitio experimental en forma decenal. La precipitación alcanzó 538.3 mm, valor menor en más de 60 mm que la media regional. La demanda evaporativa del medio alcanzó 782.5 mm durante el ciclo y la lluvia sólo cubrió 68.7% de ésta, aunque conviene aclarar que, de acuerdo con Doorenbos y Kassam (1979), el arroz es el único cultivo que, en todas sus etapas, requiere una mayor cantidad de agua que la demanda evapotranspirativa del medio ambiente.

El análisis de varianza practicado para rendimiento, altura de planta, número de granos por panícula y peso de 1000 granos, no detectó diferencia estadística entre tratamientos (Cuadro 2). Este análisis indica que, independientemente del volumen de agua aplicado al cultivo, los rendimientos de grano son semejantes o estadísticamente iguales. Esto concuerda con lo encontrado por el INIA (1982) y Robles (1978) en cuanto a la posibilidad de reducir el volumen de agua y obtener altos rendimientos de grano.

Cuadro 2. Análisis de varianza para las variables agronómicas en arroz con calendarios de riego. 1991.

| Variable | Cuadrado medio del error | F Calculada | Coef. de variación |
|---------------------|--------------------------|-------------|--------------------|
| Rendimiento | 476 292.0 | 2.15 N.S. | 7.73 |
| Altura de planta | 14.9 | 1.33 N.S. | 4.03 |
| Longitud de panoja | 1.1 | 3.52 * | 4.80 |
| Granos por panoja | 1 516.2 | 0.87 N.S. | 23.40 |
| Peso de 1000 granos | 4.1 | 0.40 N.S. | 8.17 |

N.S. = no significativo; * = significativo a 5%.

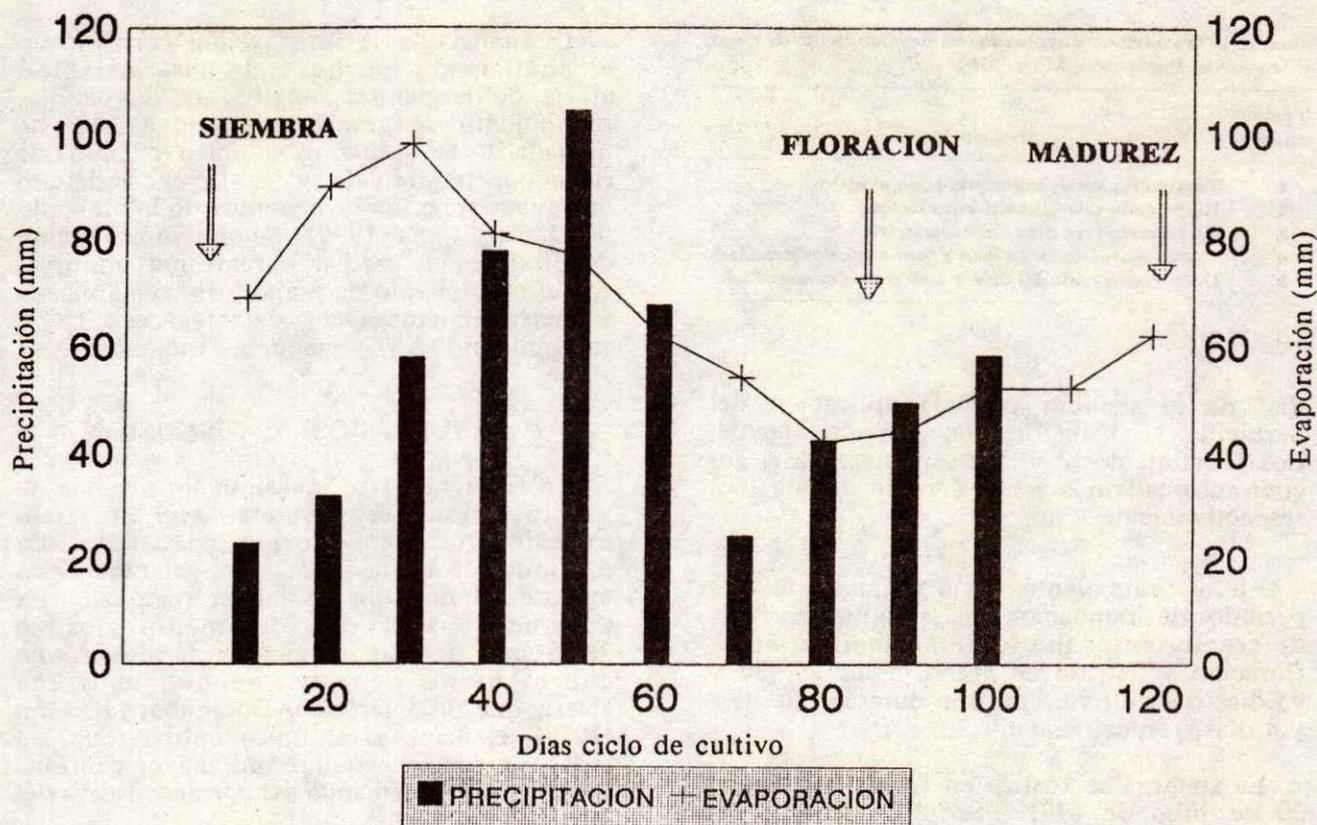


Figura 1. Precipitación y evaporación (Tanque "A"), del sitio experimental. Parácuaro, Mich. 1991.

En el Cuadro 3 se muestra la producción obtenida por tratamiento de riego en las cuatro repeticiones. El testigo produjo la mayor cantidad de grana (9.8 t ha^{-1}), sin embargo, fue estadísticamente igual al de menor rendimiento (Tratamiento 3, 8.4 t ha^{-1}),

Cuadro 3. Rendimiento de grana por repetición y tratamiento de riego, en arroz. 1991.

| Tratamiento | Rendimiento | | | | Media |
|----------------------|--------------------------------|-----|------|------|-------|
| | I | II | III | IV | |
| | ----- t ha ⁻¹ ----- | | | | |
| Testigo ^s | 9.7 | 9.6 | 10.3 | 9.2 | 9.7 |
| 2 | 8.9 | 7.7 | 8.5 | 8.9 | 8.5 |
| 3 | 7.4 | 8.8 | 8.6 | 8.5 | 8.4 |
| 4 | 8.6 | 8.2 | 9.4 | 10.4 | 9.2 |
| 5 | 8.9 | 9.5 | 8.2 | 9.1 | 9.0 |

s) Inundado todo el ciclo; 2) riego cada dos días sin inundación; 3) riego cada tres días sin inundación; 4) nueve riegos cada 10 y tres períodos inundado.

no obstante, las diferencias en aplicación de agua son altamente contrastantes (Cuadro 4), ya que el testigo, por permanecer la mayor parte del ciclo inundado, requirió una gran cantidad de agua. Se supone que una gran parte del agua se pierde por escurrimiento, ya que no es posible que el cultivo aproveche toda el agua suministrada. INIA (1981) y Robles (1978) también señalan rendimientos de grana estadísticamente iguales, aun con bajos volúmenes de agua (menores a $6000 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$).

Aun cuando los Tratamientos 2 y 3 presentaron alto rendimiento y bajos volúmenes de agua aplicados, tienen la limitante de su aceptación práctica por el productor debido a que elevarían los costos de producción, por el pago de jornales para efectuar el riego de acuerdo con el tratamiento.

En el Cuadro 4 se muestra la eficiencia de uso de agua obtenido por tratamiento de riego, en relación con lo publicado por Arévalo

Cuadro 4. Eficiencia de uso de agua (EUA), volumen y lámina de agua, y periodo de inundación suministrado al arroz por tratamiento de riego. 1991.

| Trat. ^s | Volumen riego m ³ ha ⁻¹ | Lámina riego m | EUA kg m ⁻³ | Tiempo inundación días |
|--------------------|--|-------------------|---------------------------|---------------------------|
| Testigo | 308 500 | 30.8 | 3.1 | 90 |
| 2 | 17 400 | 1.7 | 48.8 | 4 |
| 3 | 11 300 | 1.1 | 74.3 | 4 |
| 4 | 79 300 | 7.9 | 11.6 | 20 |
| 5 | 81 900 | 8.2 | 10.9 | 20 |

2) Tratamiento 2, 3, 4 y 5 (ver Cuadro 3).

(1990);, las eficiencias obtenidas fueron muy bajas en todos los tratamientos, probablemente por lo reducido de la parcela experimental y el alto volumen de agua aplicado, sin embargo, se aprecia la diferencia que existe entre el testigo y el resto de los tratamientos, así como en el tiempo que el cultivo permanece inundado.

La función de producción obtenida entre el rendimiento de grano y el agua aplicada en cuatro etapas de desarrollo es:

$$Y = 8863 - 6.11 (X1) + 5.51 (X2) + 1.59(X3) - 7.29 (X4)$$

$$R^2 = 0.45$$

$$F_c = 3.07 *$$

donde:

Y = rendimiento de grano (kg ha⁻¹)
X1... X4 = volumen de agua aplicado en las fases de crecimiento: vegetativa, gametogénesis, floración y madurez, respectivamente (m³).

El modelo no presentó ningún coeficiente significativo, los valores más altos correspondieron al riego aplicado en las etapas vegetativa y madurez, con 16 y 10% de significancia, respectivamente. No obstante, el modelo en conjunto tiene 5% de significancia.

Con el análisis de regresión para el riego aplicado en forma total, se mejoró el ajuste en forma significativa ya que se encontraron los siguientes valores:

$$Y = 3514 + 0.415 (X)$$

$$R^2 = 0.85$$

$$F_c = 17.1 *$$

donde:

Y = rendimiento de grano (kg ha⁻¹)
X = volumen de agua aplicado (m³)

El modelo explica más de 85% de la variación encontrada en el rendimiento; el coeficiente de regresión es altamente significativo, con un valor de t calculada = 4.14. El análisis de varianza reveló significancia estadística para la F calculada, de esta manera puede aceptarse esta función para explicar la variación encontrada en el rendimiento por efecto del riego aplicado durante el ciclo de cultivo.

CONCLUSIONES

1. Sin afectar el rendimiento, puede reducirse en más de 75% el tiempo que el cultivo del arroz permanece inundado, lo que permite un considerable ahorro de agua.
2. El rendimiento de grano no es afectado al reducirse el volumen de agua hasta en 20 veces, respecto al testigo inundado.
3. En forma práctica, el riego puede efectuarse cada 10 días desde la siembra, con tres periodos de inundación a los 25, 80 y 95 días, de 4, 8 y 8 días, respectivamente.

LITERATURA CITADA

- ADAME G., G. 1983. Guía para controlar la maleza del arroz de temporal en Campeche. Folleto para productores 3. INIA - SARH. Mérida, Yuc.
- AREVALO M., I. 1990. Compactación del suelo y producción de arroz. p. 49. In: XXIII Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo. Torreón, Coah.
- DOORENBOS, J. y A.H. KASSAM. 1979. Efectos del agua sobre el rendimiento de los cultivos. Riego y Drenaje. FAO. Roma, Italia.
- INSTITUTO NACIONAL DE INVESTIGACIONES AGRICOLAS. 1981. Logros y aportaciones de la investigación agrícola en el estado de Oaxaca. SARH. INIA. CIAPAS.
- INSTITUTO NACIONAL DE INVESTIGACIONES AGRICOLAS. 1982. Guía para la asistencia técnica agrícola del Campo Experimental Culiacán. INIA. SARH.
- JASSO I., R. y D. LUNA E. 1990. Alternativas tecnológicas para un uso eficiente del agua. In: R. Jasso I., M. Montes H. y C. Hernández Y. 1990. Aprovechamiento del agua y los fertilizantes en las regiones áridas de México. SMCS Comarca Lagunera, Torreón, Coah., Méx.
- ORTIZ M., G. 1973. Recomendaciones para el cultivo del arroz en Morelos. Circular CIAMEC 44. INIA - SAG. Chapingo, Méx.

PAREDES T., A. 1974. El cultivo del arroz en Morelos mediante siembra directa. Circular CIAMEC 56. INIA - SAG. Chapingo, Méx.

PONNAMPERUNA, N.F. 1982. Factores limitantes del crecimiento en suelos aeróbicos en arroz de temporal. CONACYT. México, D.F.

ROBLES S., R. 1978. Producción de granos y forrajes. Ed. Limusa. México, D.F.

RODRIGUEZ A., H. y H. RUELAS A. 1982. Guía para el cultivo del arroz de temporal en Campeche. Folleto para Productores. 3. INIA-SARH. Mérida, Yuc.

CALCULO DEL COEFICIENTE DE AJUSTE POR RESTRICCIÓN DE HUMEDAD Y DEFICIT HÍDRICO COMO FUNCIÓN DE LA TENSION DE HUMEDAD Y DE LA TEXTURA DEL SUELO

Coefficient of Limiting Soil Water Predicted Using Water Stress and Soil Texture

Francisco Mojarro Dávila, Marco A. Inzunza I. y Leopoldo Moreno Díaz

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

Palabras clave: Evapotranspiración, Modelos, Maíz, Lisímetro de pesada, Lisímetros volumétricos, Índice de área foliar, Requerimiento de riego.

Index words: Evapotranspiration, Models, Corn, Weighing lysimeter, Nonweighing lysimeter, Leaf area index, Water requirement.

RESUMEN

Los coeficientes de desarrollo se han utilizado ampliamente por investigadores y operadores de Distritos de Riego para estimar la evapotranspiración y, posteriormente, los requerimientos de riego para los cultivos. La evapotranspiración real (ET) se estima mediante la ecuación: $ET = K_c K_s E_{Tr}$; donde: $K_c = E_{Tx}/E_{Tr}$ y $K_s = ET/E_{Tx}$ (E_{Tx} y E_{Tr} son la evapotranspiración máxima y la de referencia, respectivamente) la cual caracteriza la capacidad del sistema suelo-planta-clima.

El presente trabajo se realizó en el Campo Experimental del CENID-RASPA-INIFAP, ubicado en Gómez Palacio, Dgo., México, y consistió en el estudio de la relación entre el coeficiente de ajuste por restricción de humedad del suelo (K_s) y el déficit hídrico, en tres tipos de texturas. Se analizaron los

datos diarios de E_{Tx} de maíz, medida en un lisímetro de pesada, y la información de ET, obtenida en nueve lisímetros volumétricos, los cuales contenían tres suelos con diferente tipo de textura; se simularon tres niveles de humedad en los lisímetros volumétricos.

El objetivo central de este trabajo fue el de determinar y simular el K_s para diferentes niveles de tensión de humedad y para diferentes texturas. Los resultados indican que una función de potencia inversa es adecuada para explicar la relación entre K_s y la tensión de humedad en el suelo, ya que explica en forma dinámica las variaciones de la evapotranspiración con diferentes regímenes hídricos. Asimismo, se encontró un ajuste aceptable entre el índice de área foliar y la capacidad de retener agua de los tres tipos de suelo estudiados

SUMMARY

Crop coefficients have been frequently used for researchers and irrigation district planners to estimate evapotranspiration and water requirement for crops. Actual evapotranspiration (ET) is estimated by the equation: $ET = K_c K_s E_{Tr}$; where $K_c = E_{Tx}/E_{Tr}$ and $K_s = ET/E_{Tx}$ (E_{Tr} and E_{Tx} are the reference and maximum evapotranspiration, respectively), which characterize the soil-plant-climatic-system capacity.

Recibido 2-93.

This research was carried out at the experimental station of the Centro Nacional de Investigación Disciplinaria en Relación Agua-Suelo-Planta-Atmósfera in Gómez Palacio, Durango. This study evaluated the relationships between the coefficient of limited soil water (K_s) and the soil water stress, in three different soil textures. Daily data of maximum evapotranspiration of corn were measured in a weighing lysimeter, whereas actual evapotranspiration was measured in nine volumetric lysimeters (three different soil textures with repetitions) where three different soil water stresses were simulated.

The objective of this study was to determine and simulate the coefficient of limited soil water based on different levels of soil water stress and for different soil textures. Results showed that an inverse potential model is adequate to explain the relationship between the coefficient of limited soil water and soil water stress. This function explains the dynamics of the variation of the evapotranspiration based on different soil water contents. In the same way, an acceptable fit was found between leaf area index and the soil water holding capacity of the three soil types under study.

INTRODUCCION

Investigaciones sobre la programación de riego en algunos Distritos de Riego indican que la cantidad de agua aplicada a los cultivos y la frecuencia de su aplicación no ha cambiado mucho durante los últimos 25 años. Esto obedece a que un parámetro clave en esta programación es la evapotranspiración real, la que en un tiempo se supuso igual a la evapotranspiración de referencia; esta última se estima en función de ciertos parámetros climatológicos como temperatura, radiación y viento (Blaney-Criddle, 1945; Castilla, 1966; Penman, 1949) y es corregida por un coeficiente determinado empíricamente. Estas determinaciones de ET representan la demanda evaporativa de la atmósfera; sin embargo, la ET es afectada por una demanda dinámica de los cultivos de acuerdo con su período de desarrollo y por el grado de retención de agua en el suelo, la que a su vez depende de la textura, del cultivo y de las condiciones meteorológicas que cambian de un año al siguiente. Esta situación hace difícil realizar una medición confiable del citado

índice climático; sin embargo, es indispensable estimar en forma precisa la evapotranspiración real de los cultivos para generar adecuados programas de riego, con el fin de incrementar la productividad del agua.

El objetivo de este trabajo fue determinar y simular el coeficiente de ajuste por restricción de humedad del suelo para diferentes texturas, así como evaluar metodologías para cuantificar el K_s por medio de lisimetría y concienciar de su importancia en el proceso evapotranspirativo.

REVISION DE LITERATURA

La evapotranspiración real para un cultivo dado representa los procesos por los cuales el agua es transferida del suelo a la atmósfera; estos procesos incluyen la evaporación directa del suelo y la evaporación de la superficie de las hojas (transpiración).

La investigación realizada en años anteriores se dirigió a determinar los requerimientos de riego por los cultivos irrigados, utilizando lisímetros de pesada y parcelas en el campo, donde se registró la evapotranspiración; sin embargo, la mayoría de estas investigaciones determinaron la evapotranspiración cuando el agua en el suelo no era un factor limitante (Hagan *et al.*, 1967; Hill *et al.*, 1983).

Investigaciones recientes en México sobre evapotranspiración, dirigidas por Palacios (1982) en el Centro de Hidrociencias del Colegio de Postgraduados, por Mojarro e Inzunza (1990) en el CENID-RASPA, del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias, han realizado en diferentes condiciones de disponibilidad de agua en el suelo y han permitido un mejor conocimiento de la evapotranspiración de los cultivos.

De acuerdo con Norero (1969), la evapotranspiración puede expresarse de la siguiente manera:

$$K_i = E_{Ti} / E_{Tri} \quad (1)$$

$$E_{Ti} = K_i E_{Tri} \quad (2)$$

donde:

K_i = Un coeficiente de cultivo adimensional para un estado de desarrollo y un tipo de textura.

ET = La evapotranspiración real (mm/día)

ET_r = La evapotranspiración de referencia (mm/día), la cual puede calcularse por métodos como el de Penman (1949), Jensen-Haise (1963) y otros que utilizan la evaporación registrada en un tanque tipo "A".

i = El período de tiempo considerado.

Diversos investigadores han establecido que la evapotranspiración depende del área del suelo sombreada por las hojas y del agua disponible en el suelo (Denmead y Shaw, 1962; Mojarró y Palacios, 1982; Wright, 1982). En este caso K_i puede calcularse como:

$$K_i = K_c i K_{si} \quad (3)$$

donde:

K_c = El coeficiente de ajuste por desarrollo del cultivo en el período i .

K_s = El coeficiente de corrección por disponibilidad del agua en el suelo y de la demanda evaporativa en el período i .

Norero (1969) ha propuesto las siguientes relaciones funcionales para determinar K_{ci} y K_{si} .

$$K_{ci} = ET_x i / ET_r i \quad (4)$$

$$K_{si} = ET_i / ET_x i \quad (5)$$

donde:

ET_x es la evapotranspiración máxima (mm/día) la cual se obtiene sin restricciones de agua; los otros términos ya fueron definidos.

Varias investigaciones se han realizado para obtener las funciones que expliquen de una forma racional y física las dimensiones de la evapotranspiración, conforme aumenta la tensión de humedad en el suelo, sin embargo, las hipótesis planteadas sobre a qué tensión de humedad en el suelo empieza a decrecer la ET son contradictorias (Norero, 1969), debido a diferencias en las condiciones experimentales. Thorntwaite y Matter (1955) suponen que la relación entre la evapotranspiración y la humedad residual es lineal. En el mismo año Veihsmeier y Hendrickson (1955) determinaron que $K_{si} = 1$. Posteriormente, Denmead y Shaw (1962) y Norero (1969) fueron los primeros en proponer que la relación entre la evapotranspiración y la humedad disponible en el suelo es exponencial.

Norero (1969) derivó una función que relaciona los K_{si} y la tensión de humedad (T) en el suelo como sigue:

$$K_{si} = \frac{1}{1 + \left(\frac{T_i}{C}\right)^k} \quad (6)$$

donde:

T_i = Tensión de humedad en el período i .

K y C = Constantes que dependen de las propiedades del suelo. Jensen *et al.* (1971) suponen que K_{si} es proporcional al logaritmo de la humedad residual (HR).

$$K_{si} = \ln(HR+1) / \ln(HR-1) \quad (7)$$

Hanson (1976) presentó las siguientes ecuaciones exponenciales para estimar los K_{si} en función de la humedad aprovechable (HA):

$$K_{si} = (HA_i)^{0.0394} ET_{pi} \quad (8)$$

$$K_{si} = (HA_i)^{0.0285} EV_i \quad (9)$$

En el Centro de Hidrociencias del Colegio de Postgraduados se han encontrado funciones similares a las descritas anteriormente y se ha observado que a demandas altas y contenidos de humedad en el suelo bajos, la reducción de la tasa evapotranspirativa puede llegar a ser de 80%.

MATERIALES Y METODOS

La ET_x se midió en un lisímetro de pesada y de estructura inalterada situado en el CENID-RASPA en Gómez Palacio, Dgo., el cual está ubicado a 25°30' de latitud norte y 103°32' de longitud oeste, y a una altura sobre el nivel medio del mar de 1130 m. La ET se midió en nueve lisímetros de estructura alterada y de drenaje, localizados en el citado centro; los detalles de construcción de los lisímetros fueron publicados por Alférez y Peña (1976).

Características del suelo. En el Cuadro 1 se muestran algunos resultados de los análisis físicos de los suelos contenidos en los lisímetros.

Determinaciones de la ET_x y de la ET . El cultivo (maíz) se desarrolló en condiciones óptimas de riego durante el ciclo vegetativo en el lisímetro de pesada, el cual tiene un sistema electrónico de pesada que registra las aportaciones por riego y/o lluvia y la salida por drenaje, y proporciona valores diarios de ET_x .

Cuadro 1. Características físicas de los suelos.

| Lisímetro | Prof. | Tex- tura | Da | CC | CR | PMP |
|--------------|------------------------|--------------|-------------------|------|------|------|
| | cm | | g/cm ³ | % | cm | % |
| Pesada | 0-30 | Mr | 1.27 | 31.0 | | 15.1 |
| | 30-60 | Mr | 1.29 | 30.0 | | 15.0 |
| | 60-90 | Mr | 1.30 | 29.0 | | 15.0 |
| | 90-120 | C | 1.31 | 28.0 | 18.3 | 14.8 |
| Volumétricos | | | | | | |
| 1) | 0-120 | A | 1.60 | 20.0 | 16.0 | 9.0 |
| 2) | 0-120 | R | 1.10 | 42.0 | 23.8 | 20.0 |
| 3) | igual que el de pesada | | | | | |

CR = Capacidad de retención a 100 cm de profundidad;
Mr = Migajón-arcilloso; C = Franco o medio;
A = Arenoso; R = Arcilloso; Da = Densidad aparente;
CC = Capacidad de campo; PMP = Punto de marchitamiento permanente.

De igual manera, se utilizaron los nueve lisímetros volumétricos del Centro para determinar la evapotranspiración real; el cultivo en estos lisímetros creció en condiciones restrictivas de agua. La ET se midió con el mismo criterio arriba descrito, con la diferencia de que los volúmenes de agua aportados por riego, lluvia, ambos, y drenaje se cuantificaron en forma manual.

Datos del cultivo y manejo de riegos en los lisímetros. El cultivo sembrado fue maíz H-419, con una densidad de población de 50 mil plantas ha⁻¹. El criterio del riego en el lisímetro de pesada fue el de mantener una tensión de 0.5 a 1 atm en todo el perfil del suelo y en los nueve lisímetros de drenaje cuando existieron las tensiones ponderadas de 3, 9 y 15 atmósferas, con respecto a la lámina total consumida. El registro del abatimiento de humedad se hizo por medio de un aspersor de neutrones.

Relación entre el índice de área foliar (IAF) y la capacidad de los suelos para retener agua (CR). En la búsqueda de un modelo que relacione el IAF y el CR y suponiendo que el IAF es un factor fisiológico importante en la determinación de las tasas del crecimiento de los cultivos, se propuso la siguiente ecuación, sugerida por Richards (France y Thornley, 1984), como modelo de crecimiento:

$$IAF = \frac{IAF_o IAF_f}{[IAF_o^{ICR} + (IAF_f^{ICR} - IAF_o^{ICR})e^{-kt+bt}]^{1/ICR}} \quad (10)$$

donde:

IAF_o y IAF_f = Valores iniciales y finales.

ICR = Índice de la capacidad de los suelos para retener agua.

k y b = constantes, t = tiempo.

$$ICR = (CR - 14)/6 \quad (11)$$

$$CR = (CC - PMP) * Da * Pr/100 \quad (12)$$

donde:

CR = Es la capacidad del suelo en retener agua (cm).

Pr = Profundidad del estrato de suelo (cm).

Los valores 14 y 6 en la Ecuación 11 se determinaron, suponiendo que los valores mínimos y máximos en CR en suelos irrigados son 8 y 26 para suelos arenosos y arcillosos, respectivamente; posteriormente, la diferencia entre 26 y 8 se dividió en tres partes iguales, cada una con un valor de 6, y 14 es un valor constante para forzar a que $1 < ICR < 2$.

Índice de área foliar. El índice de área foliar (IAF) se midió cada semana durante el ciclo de cultivo en cada uno de los lisímetros.

Modelo que relaciona los Ksi y la disponibilidad del agua en el suelo. Se utilizó la Ecuación 6 para simular dicha relación. Esta función se convirtió a lineal utilizando logaritmos.

$$K_s = \frac{ET}{ETx} = \frac{1}{1 + \frac{(T)}{C}^K}$$

$$ETx/ET - 1 = (T/C)^K$$

Al aplicar logaritmos se tiene:

$$\ln [(ETx-ET)ET] - K \ln T - K \ln C \quad (13)$$

donde:

K = Es la pendiente de la función

-K LnC = Es la ordenada al origen

RESULTADOS Y DISCUSION

En las Figuras 1, 2 y 3 se presentan los patrones de distribución del IAF para los niveles de 3, 9 y 15 atm. Es evidente que la capacidad de los tipos de texturas en retener agua afectó los valores del IAF. Los máximos

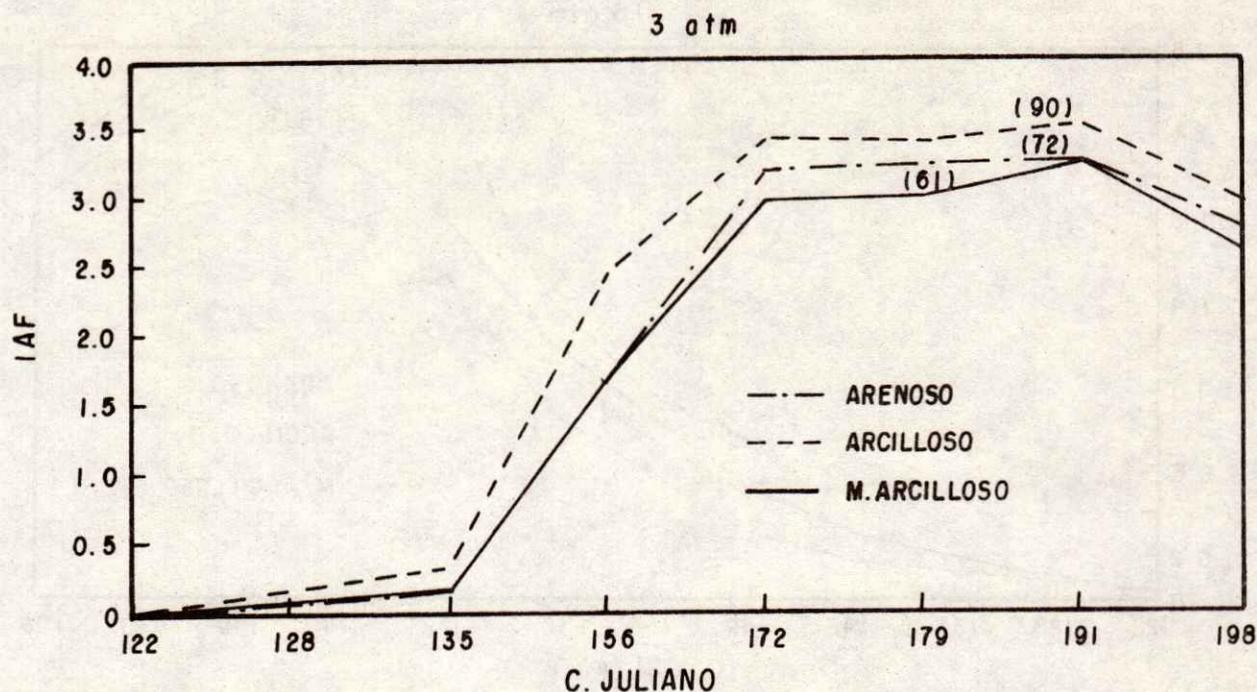


Figura 1. Comportamiento del IAF durante el periodo de crecimiento del maíz.

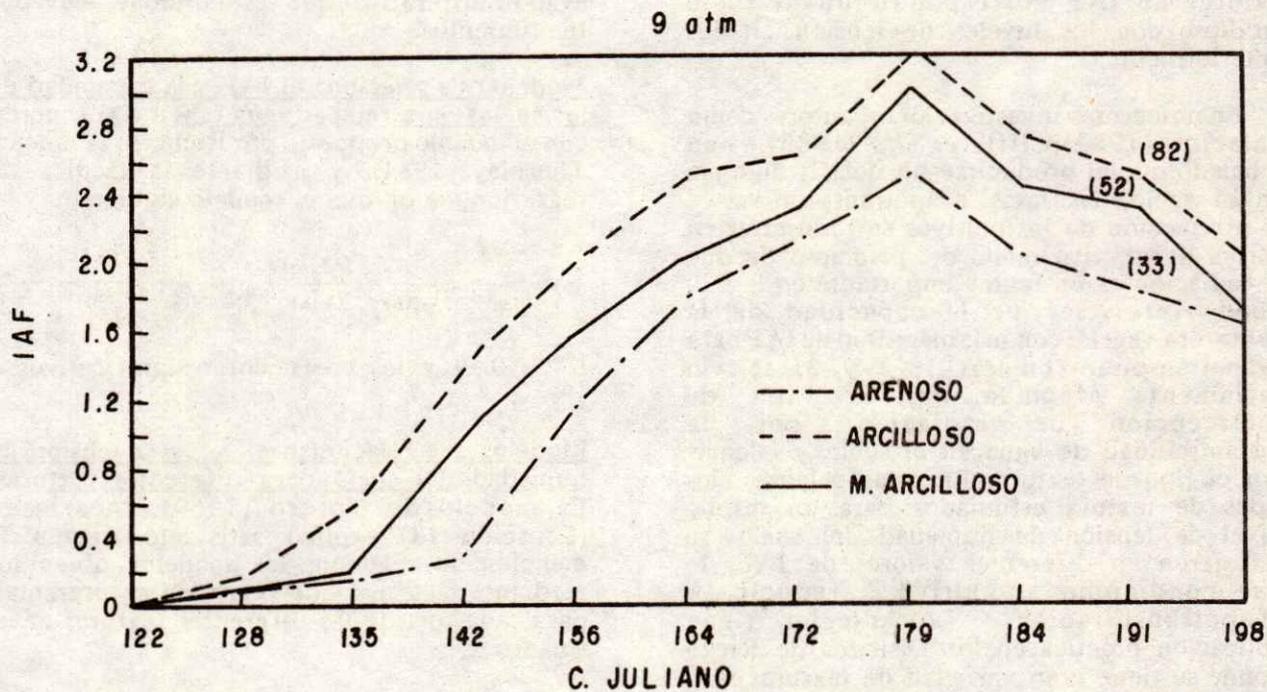


Figura 2. Comportamiento del IAF durante el periodo de crecimiento del maíz.

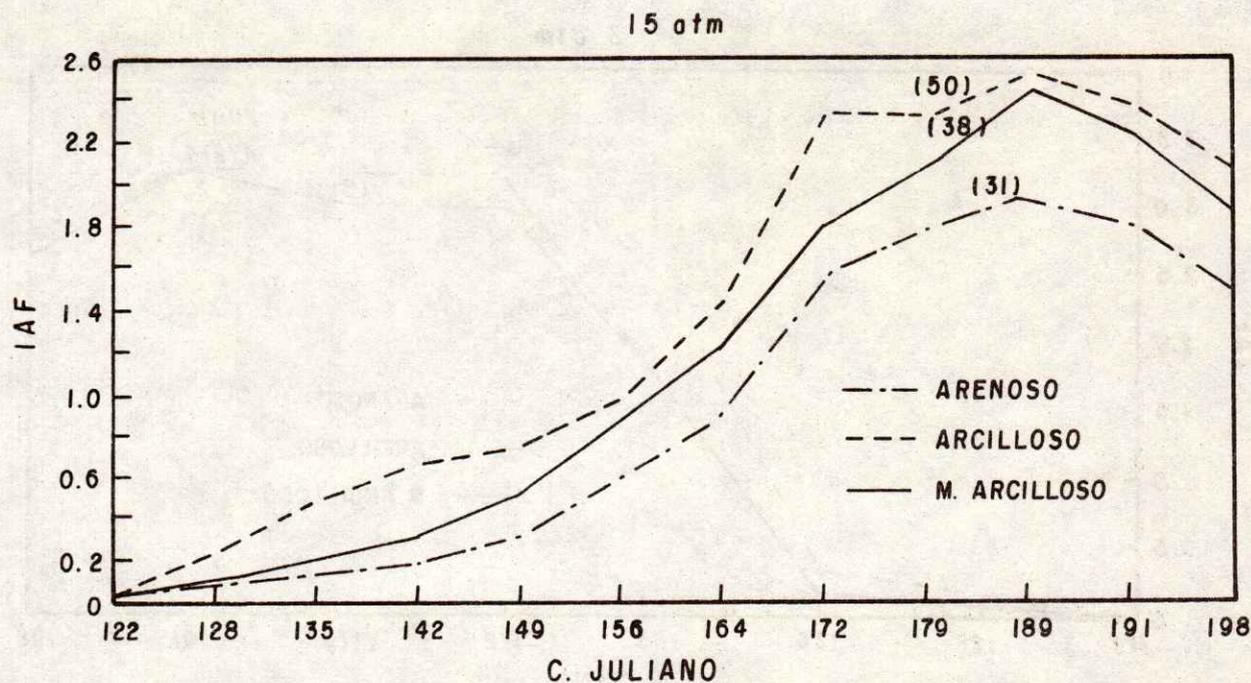


Figura 3. Comportamiento del IAF durante el período de crecimiento del maíz.

valores de IAF correspondieron al suelo arcilloso con los niveles de tensión citados anteriormente.

En numerosas investigaciones, autores como Palacios (1982), Hill *et al.* (1983), han señalado que al producirse un déficit de agua en el suelo, las tasas evapotranspirativas y la producción de los cultivos se redujeron en forma lineal. Partiendo del principio de que la radiación es un factor importante en la ET, puede inferirse que la capacidad de la cobertura vegetal con más magnitud de IAF para evapotranspirar (Figuras 1, 2 y 3) se vio seriamente afectada por la falta de intercepción de radiación, por la disponibilidad de agua en el suelo y además por el tipo de textura. En otras palabras, los tipos de textura estudiados para un mismo nivel de tensión de humedad del suelo, se reflejaron en diferentes valores de IAF, lo que condicionó al cultivo a reducir su evapotranspiración. Lo anterior tiene aplicación práctica en los Distritos de Riego donde se tiene gran variedad de texturas; por lo tanto, debe considerarse diferente dotación de agua a los cultivos para que éstos mantengan una cobertura vegetal

evapotranspirativa que proporcione elevados rendimientos.

Modelo que relaciona el IAF y la capacidad de los suelos para retener agua (CR). De acuerdo con el modelo propuesto por Richards (France y Thornley, 1984), y mediante la técnica de regresión, se obtuvo el modelo siguiente:

$$IAF = \frac{IAF_o IAF_f}{[IAF_o^{ICR} + (IAF_f^{ICR} - IAF_o^{ICR})e^{-0.09 + 0.052t}]^{1/ICR}} \quad (14)$$

$R^2 = 0.69$ y los coeficientes significativos a 1%.

Modelos que relacionan el Ks y la tensión de humedad del suelo para diferentes texturas.

El modelo de Norero (1969) linealizado (Ecuación 13) explicó satisfactoriamente la mencionada relación; los modelos obtenidos mediante la técnica de regresión se presentan para cada una de las diferentes texturas en el Cuadro 2.

El tipo de la Ecuación 6 es función inversa, y de acuerdo con los valores K y C generados (Cuadro 2) puede abarcar una amplia

gama de situaciones (Figura 4), entre las que destacan: a) donde la evapotranspiración fue máxima, ya que para las tres texturas los valores de K_s fueron similares en el intervalo de 0.3 a 1.0 atmósferas, b) posteriormente, las tres curvas decrecieron gradualmente y en este punto es precisamente donde se establecieron las grandes reducciones de la ET por limitaciones físicas de los suelos para retener agua (Cuadro 1) para abastecer la demanda evaporativa. Resulta obvio que para un mismo valor de tensión las reducciones en ET se presentaron con mayor grado en el suelo arenoso, luego en el migajón-arcilloso y por último en el arcilloso. Esto es aplicado por el sistema poroso en suelos arenosos donde predominan poros de diámetro grande, favoreciendo la liberación del agua a bajas tensiones; en suelos arcillosos se requieren mayores tensiones para liberar el agua debido a que estos suelos contienen en su mayoría poros pequeños y medianos; por último, c) las curvas tendieron a ser asintóticas al eje de las abscisas, lo cual indica que la liberación del agua del suelo a la planta fue muy escasa o nula a altas tensiones.

Cuadro 2. Modelos de K_s para diferentes tipos de texturas.

| Textura | Modelo | R^2 |
|---------|--|-------|
| A | $K_s = \frac{1}{1 + \left(\frac{T}{4.219}\right)^{2.076}}$ | 0.96 |
| Mr | $K_s = \frac{1}{1 + \left(\frac{T}{7.279}\right)^{2.758}}$ | 0.95 |
| R | $K_s = \frac{1}{1 + \left(\frac{T}{8.489}\right)^{3.728}}$ | 0.93 |

A = arenosa; Mr = migajón-arcillosa; R = arcillosa.

De este análisis ha quedado demostrado que la influencia de la textura es un factor importante en el sistema suelo-planta-atmósfera, el cual es inseparable y continuo en el transporte del agua; por lo que para el

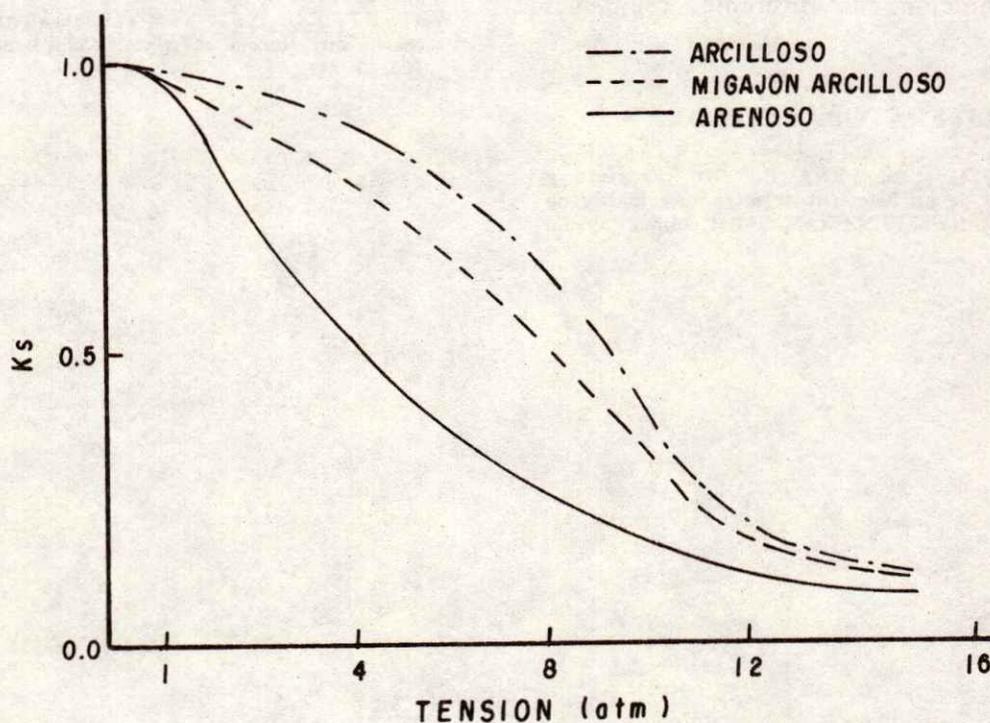


Figura 4. Relación del K_s y diferentes tensiones de humedad del suelo de acuerdo a los modelos obtenidos.

cálculo de los requerimientos de riego, y en la toma de decisiones en las prácticas de riego, resulta conveniente entender y analizar cuantitativamente las reducciones de ET por la capacidad de retención de agua por los tipos de suelo, en vez de hacer generalidades empíricas.

CONCLUSIONES

Del análisis de esta información puede decirse que al inducir una tensión de humedad en el suelo se producen reducciones en el IAF, las cuales van acompañadas con decrementos de las tasas evapotranspirativas.

Es posible estimar el IAF como parámetro indicador de la evapotranspiración si se conoce la capacidad de retención de los suelos.

El modelo propuesto por Norero (1969) para estimar el K_s es aceptable, ya que este considera las interacciones de suelo-planta. Es recomendable repetir el experimento con el fin de comprobar los modelos obtenidos y verificar otros para que de esta manera sea posible establecer teorías que expliquen de una forma dinámica las variaciones de la evapotranspiración con diferentes regímenes hídricos.

LITERATURA CITADA

- ALFERES C., J. y E. PEÑA P. 1976. Proyecto y construcción de un lisímetro de estructura inalterada y de pesada. Informe CENAMAR-SARH, Gómez Palacio, Dgo., México.
- DENMEAD, O.T., and R.H. SHAW. 1962. Availability of soil water to plants as affected by soil moisture content and meteorological conditions. *Agron. J.* 54: 385-390.
- FRANCE, J., and J.H. THORNLEY. 1984. *Mathematical models in agriculture*. Butterworths.
- HAGAN, R.M., H.R. HAISE, and T.W. EDMINSTER. 1967. *Irrigation of agricultural lands*. Monograph 11, American Society of Agronomy. Madison, Wisconsin.
- HILL, W.R., J.I. STEWARD, M.N. NIMAH, and W.O. PRUIT. 1983. Comparison of equations used for estimating agricultural crop evapotranspiration with yield research. Bureau of reclamation U.S. Department of the Interior.
- JENSEN, M.E., and H.R. HAISE. 1963. Estimating evapotranspiration from solar radiation. *Journal of Irrigation and Drainage Division*. 89: 15-41.
- MOJARRO D.F. y E. PALACIOS V. 1982. Ajuste de las funciones de Jensen-Haise, Horton y Norero para estimar la evapotranspiración. *Agrociencia (Edición especial)*: 125-135.
- NORERO, A. 1969. A formula to express evapotranspiration as a function of soil moisture and evaporative demand of the atmosphere. Ph.D. Dissertation, UTAH State University.
- PALACIOS V., E. 1982. Respuesta de algunos cultivos a regímenes variables de humedad del suelo. *Agrociencia (Edición especial)*.
- PENMAN, H.C. 1949. Natural evaporation from open water, bare soil, and grass. *Proceedings of Royal Society of London A*. 93: 120-145.
- VEIHMEYER, J.F., and A.H. HENDRICKSON. 1955. Does transpiration decrease as the soil moisture decrease? *Trans. American Geophy. Union*. 36: 425-440.
- WRIGHT, J.L. 1982. New evapotranspiration crop coefficients. *Journal of Irrigation and Drainage Division* 108: 57-74.

**EFFECTO DE LA INOCULACION DE *Azospirillum* sp. EN
Phaseolus vulgaris L. INOCULADO CON *Rhizobium* spp.**

Effect of the Inoculation of *Azospirillum* sp. in
Phaseolus vulgaris L. Nodulated with *Rhizobium* spp.

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

CINVESTAV IPN, U. Irapuato, Depto. de Biotecnología y Bioquímica,
Apartado Postal 629, 36600 Irapuato, Gto.

Palabras clave: Fijación de nitrógeno, Frijol,
Azospirillum, *Rhizobium leguminosarum* bv.
phaseoli, *Rhizobium tropici*.

Index words: Nitrogen fixation, Common bean,
Azospirillum, *Rhizobium leguminosarum* bv.
phaseoli, *Rhizobium tropici*.

RESUMEN

Se evaluó el efecto de la inoculación de *Azospirillum brasilense* sobre la nodulación y la actividad de la nitrogenasa de frijol negro cv. Honduras 35 colonizado por cepas efectivas e inefectivas de *Rhizobium* spp. Los resultados muestran un efecto positivo de la inoculación de *Azospirillum* sobre la simbiosis *Phaseolus-Rhizobium*. El peso seco de las plantas inoculadas con una mezcla de una cepa inefectiva (UMR1116) y una efectiva (Oax 31 o CIAT 899) se comportó como si hubieran sido inoculadas sólo con esta última. Sin embargo, cuando se inoculó *Azospirillum* a las plantas, en general, el peso seco del follaje se incrementó. Los resultados indican que independientemente de la capacidad fijadora de nitrógeno de *Azospirillum*, esta bacteria incrementó el número de nódulos efectivos y favoreció la actividad nitrogenasa de los mismos.

Recibido 2-94.

SUMMARY

The effect of inoculation with mixed cultivars of *Azospirillum* and a mixture of *Rhizobium* strains on nitrogen fixation of common bean was assayed in a greenhouse trial. Combined inoculation of common bean with *Azospirillum* and a mixture of *Rhizobium* effective (Oax 31 or CIAT 899) and ineffective (UMR1116) strains significantly increased plant nodulation, acetylene reduction (nitrogen fixation) activity, and dry matter yield. Whereas there was no effect with the plant inoculated just by rhizobia. These results suggest that it is possible to increase nodulation, nitrogen fixation, and dry matter yields of common bean by inoculation with *Azospirillum*.

INTRODUCCION

La fijación biológica del nitrógeno es un proceso a través del cual algunas plantas obtienen gran parte de sus requerimientos de este nutrimento (Roskoski, 1989; Sprent, 1986). En el caso de las leguminosas, esto es factible debido a que realizan simbiosis mutualista con bacterias del género *Rhizobium* y/o *Bradyrhizobium*. Sin embargo, una de las especies cultivadas que muestra mayor variación en cuanto a su respuesta a la inoculación con *Rhizobium* es *Phaseolus vulgaris* (Graham, 1981; Peña-Cabriales, 1989).

Dentro de las limitantes por las cuales el proceso de fijación de N_2 no suministra la demanda en esta asociación, Atkins (1986) menciona: 1) la dificultad de lograr la infección con cepas efectivas de *Rhizobium*, 2) la inversión sustancial de nitrógeno y otros nutrientes de la semilla para sostener el crecimiento de *Rhizobium* y la formación del nódulo, 3) la inhibición de la nodulación y la fijación de N_2 debida al nitrógeno combinado en el suelo, 4) los altos costos para la planta en términos de fotosintatos, debido a los también altos requerimientos de energía para el funcionamiento de la nitrogenasa y el mantenimiento del nódulo, y 5) la senescencia prematura de los nódulos.

Por otra parte, Almaraz-Suárez y Ferrera-Cerrato (1986) indican que en lugares donde se siembra frijol las poblaciones nativas de *Rhizobium* ascienden hasta 10^5 bacterias g^{-1} de suelo. De éstas una gran proporción son cepas inefectivas. Esta situación ha provocado que la formación de nódulos por cepas efectivas introducidas sea tan baja, que los porcentajes oscilan de 5 a 20% (Vargas *et al.*, 1987).

Por otra parte, existen estudios que argumentan el papel benéfico de las interacciones de *Rhizobium* con otros microorganismos (Azcón *et al.*, 1991; Barea y Azcón-Aguilar, 1983; Burns *et al.*, 1981; Khan *et al.*, 1988; Sarig *et al.*, 1986; Thiagarajan *et al.*, 1992) y sugieren que *Azospirillum* spp. es una de las bacterias que estimulan la fijación de nitrógeno. La inoculación conjunta de *Rhizobium* y *Azospirillum* en chicharo y garbanzo parece incrementar la actividad nitrogenasa (Rai, 1983; Sarig *et al.*, 1986).

Con esto en mente, el presente trabajo tuvo como objetivo conocer el efecto de la inoculación de *Azospirillum brasilense* sobre la nodulación y actividad de la nitrogenasa de frijol (Negro Honduras 35) inoculado con cepas efectivas e inefectivas de *Rhizobium* spp. nodulante de frijol.

MATERIAL Y METODOS

Se utilizó la variedad Negro Honduras 35 de *Phaseolus vulgaris* L. la cual mostró en ensayos anteriores una alta tasa de fijación biológica de nitrógeno en campo.

Se utilizaron las cepas de *Rhizobium* denominadas *Rhizobium tropici* OAX-31,

CIAT899 y *Rhizobium leguminosarum* bv. *phaseoli* UMR-1116, las dos primeras consideradas como efectivas y la última, una mutante Fix^- , Nod^+ , donada por Ferrera-Cerrato (Colegio de Postgraduados, Montecillo, Méx.).

Se utilizó la cepa de *Azospirillum brasilense* Cd., donada por J. Caballero-Mellado (Universidad Autónoma de Puebla).

Para obtener crecimiento en fresco, las cepas de *Rhizobium leguminosarum* biovar *phaseoli* se sembraron en caldo de extracto de levadura y manitol, el cual contiene ($g L^{-1}$): manitol, 10; K_2HPO_4 , 0.5; $MgSO_4$, 0.2; NaCl, 0.1; extracto de levadura, 0.5; y 5 mL de azul de bromotimol a 0.5% (en etanol), pH 7.0. Estas se hicieron crecer en agitación a 200 golpes por minuto en un baño metabólico (Forma Scientific) a 29 °C por 48 horas. Posteriormente se mantuvieron en medio sólido inclinado a 4 °C.

Una vez crecidas se cosecharon las bacterias en una centrifuga Sorval 5B a 10000 ppm durante 20 min, el paquete celular se lavó tres veces con agua destilada estéril. Al final se ajustó la densidad celular a 10^8 bacterias mL^{-1} .

Azospirillum brasilense Cd. se cultivó en caldo NFB adicionado de 0.2% de NH_4Cl a 32 °C en agitación a razón de 200 oscilaciones por min. La concentración final fue de 10^7 unidades formadoras de colonias (UFC) mL^{-1} .

El experimento se llevó a cabo en invernadero utilizándose macetas con 1 kg de una mezcla de arena y un suelo franco (1:1) estériles; el suelo tenía las siguientes características: pH, 6.4; contenido de materia orgánica, 0.40%; y concentración de fósforo, 12 ppm.

En este soporte se sembraron dos semillas de frijol, previamente esterilizadas por inmersión en etanol a 70% durante 30 s y en una solución de bicloruro mercurico (1:1000) durante 2 min. El germicida se eliminó con lavados de agua destilada estéril.

Las plantas se regaron con solución de Sommers y Shieve, cuya composición es, en $g L^{-1}$: KH_2PO_4 , 0.079; K_2SO_4 , 0.143; $MgSO_4 \cdot 7H_2O$, 0.543; $CaSO_4 \cdot 2H_2O$, 0.759; $FeCl_2 \cdot 4H_2O$, 0.1; y 1 $mL l^{-1}$ de la solución de elementos menores (H_3BO_3 , 2.869 $g L^{-1}$;

MnCl₂·4H₂O, 1.81 g L⁻¹, ZnSO₄·7H₂O, 0.22 g L⁻¹; CuSO₄·5H₂O, 0.08 g L⁻¹; H₂MoO₄·H₂O, 0.02 g L⁻¹.

Los riegos se aplicaron según el siguiente régimen: a la siembra se regó con agua destilada estéril; el segundo riego se proporcionó tres o cuatro días después, con solución concentrada de Sommers y Shieve; los siguientes riegos se aplicaron, uno por semana, con solución nutritiva diluida (1:5) y se completaron con agua destilada estéril, según lo necesitaron las plantas.

La inoculación de las bacterias se realizó en el momento de la siembra, adicionando 1 mL de la suspensión celular por cada semilla.

El ensayo se distribuyó según un diseño de bloques completamente al azar con cuatro repeticiones. Los tratamientos fueron: las cepas de *Rhizobium* solas (OAX-31, CIAT-899, UMR-1116); la mezcla de una de las cepas efectivas (OAX-31 o CIAT-899) y la no efectiva (UMR-1116); con y sin *Azospirillum*.

Después de 45 días de la siembra, se determinó el peso seco del follaje, la actividad nitrogenasa (reducción de acetileno), el número de nódulos efectivos formados y el contenido de nitrógeno total en el follaje.

Para determinar el peso seco del follaje, se secó la parte aérea de las plantas en un horno de circulación forzada a 60 °C por 48 horas y, posteriormente, se pesó en una balanza analítica (Sartorius, Mod. 1800).

La actividad nitrogenasa se midió como la reducción de acetileno en moles de etileno formado en una hora por cada planta. Para esta determinación se separaron las raíces de la parte aérea y se colocaron en frascos, los cuales se cerraron herméticamente, se les extrajo 10% del volumen de aire y se sustituyó dicho volumen por su equivalente de acetileno. Se incubaron durante una hora a 29 °C. De cada muestra se tomó un volumen de 1 mL de la atmósfera del frasco y se analizó en un cromatógrafo de gases Hewlett Packard 588 "A", equipado con una columna Poropak N de 1.5 mm x 1.5 m. La muestra se corrió a una temperatura del horno de 100 °C y una temperatura del detector de ionización de flama y del inyector de 120 °C. El gas acarreador fue N₂, con un flujo de 40 mL min⁻¹. El nitrógeno total se evaluó por el método de Kjeldahl.

A todas las variables evaluadas se les realizó análisis de varianza y las medias se compararon mediante una prueba de Tukey (P = 0.05).

RESULTADOS Y DISCUSION

El experimento mostró claramente un efecto positivo con la inoculación de *Azospirillum* sobre la simbiosis *Rhizobium-Phaseolus*. El peso seco del follaje fue más alto en las plantas inoculadas con las cepas efectivas (OAX-31 y CIAT-899), mientras que las inoculadas con la mezcla de una cepa efectiva y una no efectiva se comportaron como si hubieran sido inoculados con la cepa inefectiva (UMR-1116) (Cuadro 1). Por otra parte, las plantas inoculadas con *Azospirillum brasilense* Cd. presentaron un mayor peso seco del follaje, en general, aunque las plantas inoculadas únicamente con las cepas efectivas, se comportaron igual con y sin *Azospirillum*. Esto sugiere que *A. brasilense* pudo colaborar a través de la fijación de N₂ en esos tratamientos. Sin embargo, como se muestra en el Cuadro 2, la capacidad de fijar N₂, medida como reducción de acetileno, no se estimuló significativamente en las plantas inoculadas con la cepa inefectiva (UMR-1116) y *A. brasilense* Cd., lo que elimina la posibilidad de contribución de nitrógeno fijado por *Azospirillum*.

Cuadro 1. Efecto de la inoculación de *Azospirillum* sobre el peso seco de follaje de frijol (Negro Honduras 35) inoculado con diferentes cepas de *Rhizobium* spp.

| Tratamiento | Peso seco del follaje ^g | |
|---|------------------------------------|-------------------------|
| | Sin <i>Azospirillum</i> | Con <i>Azospirillum</i> |
| | ----- g planta ⁻¹ ----- | |
| <i>R. leguminosarum</i> bv. <i>phaseoli</i> UMR-1116 | 0.54 c | 0.62 b |
| <i>R. tropici</i> Oax-31 | 0.73 a | 0.72 a |
| <i>R. tropici</i> CIAT-899 | 0.72 a | 0.70 a |
| <i>R. leguminosarum</i> bv. <i>phaseoli</i> UMR1116 + <i>R. tropici</i> OAX31 | 0.51 c | 0.66 ab |
| <i>R. leguminosarum</i> biovar <i>phaseoli</i> UMR1116 + <i>R. tropici</i> CIAT-899 | 0.54 c | 0.68 ab |

^a Las medias que tienen la misma letra son estadísticamente iguales (Tukey P=0.05).

Cuadro 2. Efecto de la inoculación de *Azospirillum brasilense* Cd. sobre el Número de nódulos efectivos y la capacidad fijadora^y N₂ en frijol (Negro Honduras) inoculado con diferentes cepas de *Rhizobium* spp.

| Tratamiento | Sin <i>Azospirillum</i> ^z | | Con <i>Azospirillum</i> ^z | |
|---|--------------------------------------|---|--------------------------------------|---|
| | Nódulos | Etileno mol h ⁻¹ planta ⁻¹ | Nódulos | Etileno mol h ⁻¹ planta ⁻¹ |
| <i>R. leguminosarum</i> bv. <i>phaseoli</i> UMR1116 | 0 f | 0 f | 0 f | 0.36 e |
| <i>R. tropici</i> Oax 31 | 57 c | 82 c | 67 b | 12.1 b |
| <i>R. tropici</i> CIAT 899 | 70 b | 16.1 a | 83 a | 4.87 cd |
| <i>R. leguminosarum</i> bv. <i>phaseoli</i> UMR1116 + <i>R. tropici</i> OAX 31 | 3 f | 0.89 e | 19 e | 2.1 de |
| <i>R. leguminosarum</i> bv. <i>phaseoli</i> UMR1116 + <i>R. tropici</i> CIAT 899 | 37 d | 3.2 de | 41 d | 12.5 ab |

z Las cifras seguidas de la misma letra en cada columna son estadísticamente iguales (Tukey, P = 0.05).

y Medida como reducción de acetileno.

Los mismos resultados reflejan las interacciones tan complejas que pueden ocurrir entre los organismos involucrados. Mientras que la inoculación con *A. brasilense* estimuló la fijación de nitrógeno en los tratamientos inoculados con la cepa OAX-31, con la CIAT-899 se deprimió este fenómeno. Aunque se pudo esperar que la fijación de nitrógeno con la inoculación con CIAT-899 + UMR-1116-*Azospirillum* Cd. se mantuviera baja, ésta fue más estimulada que en el tratamiento OAX-31 + UMR-1116 + *Azospirillum* Cd. Tales resultados indican que, independientemente de la capacidad fijadora de N₂ de *Azospirillum*, esta bacteria presenta características que pueden favorecer la actividad fijadora de N₂ de *Rhizobium*. Estos resultados, coinciden con lo publicado por Plazinski y Rolfe (1985a, 1985b, 1985c), quienes observaron un efecto diferencial entre las cepas de *Azospirillum* y *R. trifolii* inoculadas en trébol. Además de favorecer la capacidad de fijar nitrógeno, el porcentaje de nitrógeno en el follaje de las plantas se incrementó (Cuadro 3), esta variable se comportó de manera similar al peso

seco del follaje. El aumento en el porcentaje de nitrógeno en la planta, debido a la inoculación con *Azospirillum*, ha sido señalado previamente en otras leguminosas como *Pisum sativum* L. y *Vicia sativa* L. (Sarig et al., 1986).

En el Cuadro 2 se muestra como el número de nódulos efectivos disminuyó cuando se inoculó la mezcla de las cepas efectiva e inefectiva, situación muy similar a lo que sucede en la naturaleza para la gran mayoría de la superficie cultivada en México (Castellanos, 1992). Cuando a esta mezcla se le adicionó *Azospirillum brasilense* Cd. se incrementó el número de nódulos efectivos, pero cabe hacer mención que en la interacción OAX-31 + UMR-1116 fue mayor su incremento que en los tratamientos con CIAT899 + UMR-1116. Dichos efectos probablemente fueron debidos a otras causas, no a la fijación de N₂ por *Azospirillum*, por ejemplo, producción de fitohormonas, como lo sugieren Plazinski y Rolfe (1985d), quienes postulan que las

Cuadro 3. Efecto de la inoculación de *Azospirillum brasilense* Cd. sobre el nitrógeno en follaje de frijol (Negro Honduras 35) inoculado con diferentes cepas de *Rhizobium* spp.

| Tratamiento | Nitrógeno ^s | |
|--|-------------------------|-------------------------|
| | Sin <i>Azospirillum</i> | Con <i>Azospirillum</i> |
| <i>R. leguminosarum</i> bv. <i>phaseoli</i> UMR-1116 | 1.5 b | 1.7 db |
| <i>R. tropici</i> Oax-31 | 2.6 abc | 2.7 ab |
| <i>R. tropici</i> CIAT-899 | 2.9 a | 2.7 ab |
| <i>R. leguminosarum</i> bv. <i>phaseoli</i> UMR1116 + <i>R. tropici</i> OAX 31 | 1.7 db | 2.3 c |
| <i>R. leguminosarum</i> bv. <i>phaseoli</i> UMR1116 + <i>R. tropici</i> CIAT 899 | 1.9 d | 2.5 bc |

^s Las cifras seguidas de la misma letra en cada columna son estadísticamente iguales (Tukey, P = 0.05).

fitohormonas contribuyen al desarrollo, mantenimiento y senescencia de los nódulos.

CONCLUSIONES

- *Azospirillum brasilense* Cd. incrementó la capacidad de fijar N₂ en *Phaseolus vulgaris* L. var. Negro Honduras, inoculado con *Rhizobium leguminosarum* biovar *phaseoli*.
- Se incrementó el número de nódulos efectivos en plantas inoculadas con *A. brasilense* Cd.
- La interacción entre *Azospirillum brasilense* Cd. y las cepas de *Rhizobium* presentó una respuesta específica.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece la escritura del trabajo a la Srita. Ma. Soledad Palomares Serrano y al CONACYT el apoyo brindado al proyecto 057N.

LITERATURA CITADA

- ALMARAZ-SUAREZ, J.J. y R. FERRERA-CERRATO. 1986. Evaluación y selección de cepas de *Rhizobium phaseoli* eficientes en fijación de nitrógeno aisladas de Zacatecas, Durango y Aguascalientes. Reporte anual del proyecto tolerancia a sequía en frijol. MSU-INIFAP.
- ATKINS, C.A. 1986. The legume *Rhizobium* symbiosis: limitations to maximizing nitrogen fixation. Outlook on Agric. 15(3): 128-134.
- AZCON R., R. RUBIO, and J.M. BAREA. 1991. Selective interactions between different species of mycorrhizal fungi and *Rhizobium meliloti* strains and their effects on growth, N₂-fixation (¹⁵N) and nutrition of *Medicago sativa* L. New Phytol. 117: 399-404.
- BAREA, J.M., and C. AZCON-AGUILAR. 1983. Mycorrhizas and their significance in nodulating nitrogen fixing plants. Adv. Agron. 36: 1-54.
- BURNS, Jr. T.A., P.E. BISHOP, and D.W. ISRAEL. 1981. Enhanced nodulation of leguminous plant roots by mixed cultures of *Azotobacter vinelandii* and *Rhizobium*. Plant and Soil 62: 399-412.
- CASTELLANOS R., J.Z. 1992. La fijación biológica de N₂ en frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) bajo condiciones de sequía. Tesis de Doctorado. Centro de Investigaciones y Estudios Avanzados, Instituto Politécnico Nacional. Irapuato, Guanajuato, México.
- GRAHAM, P.H. 1981. Some problems of nodulation and symbiotic nitrogen fixation in *Phaseolus vulgaris* L. Field Crops Res. 4: 93-112.
- KHAN, A.H., A. ISLAM, R. ISLAM, S. BEGUM, and S.M. IMAMUL HUQ. 1988. Effect of indigenous VA mycorrhizal fungi on nodulation, growth and nutrition of lentil (*Lens culinaris* L.) and blackgram (*Vigna mungo* L.). J. Plant Physiol. 133: 84-88.
- PENA-CABRIALES, J.J. 1989. La fijación biológica de N₂ en México. pp. 1-3. In: Resúmenes Conferencias Magistrales, II Congreso Nacional de la Fijación Biológica del Nitrógeno. Guadalajara, Jal.
- PLAZINSKI, J., and B.G. ROLFE. 1985a. Influence of *Azospirillum* strains on the nodulation of clovers by *Rhizobium* strains. Appl. Environ. Microbiol. 49: 984-989.
- PLAZINSKI, J., and B.G. ROLFE. 1985b. *Azospirillum-Rhizobium* interactions leading to a plant growth stimulation without nodule formation. Can. J. Microbiol. 31: 1026-1030.
- PLAZINSKI, J., and B.G. ROLFE. 1985c. Analysis of the pectolytic activity of *Rhizobium* and *Azospirillum* strains isolated from *Trifolium repens*. J. Plant Physiol. 120: 181-187.
- PLAZINSKI, J., and B.G. ROLFE. 1985d. Interaction of *Azospirillum* and *Rhizobium* strains leading to inhibition of nodulation. Appl. Environ. Microbiol. 49: 990-993.
- RAI, R. 1983. Efficacy of associative N₂ fixation by streptomycin resistant mutants of *Azospirillum brasilense* with genotypes of chick pea *Rhizobium* strains. J. Agric. Sci. Camb. 100: 75-80.

- ROSKOSKI, J.P. 1989. Biological nitrogen fixation (BNF): commonly asked questions and answers. Illustrated concepts in agricultural biotechnology. Niftal Project-MIRCEN. No. 4.
- SARIG, S., Y. KAPULNIK, and Y. OKON. 1986. Effect of Azospirillum inoculation on nitrogen fixation and growth of several winter legumes. Plant Soil 90: 335-342.]
- SPRENT, J.I. 1986. Benefits of Rhizobium to agriculture. TIBTECH 4(5): 124-129.
- THIAGARAJAN, T.R., R.N. AMES, and M.H. AHMAD. 1992. Response of cowpea (Vigna unguicalata) to inoculation with co-selected in field trials. Can. J. Microbiol. 38: 573-576.
- VARGAS, C.S., R. MEDRANO P., A. CARRETO L., V. OLALDE-PORTUGAL y J.J. PEÑA-CABRIALES. 1987. Capacidad competitiva de R. phaseoli en el Bajío, México. XXVII Reunión Anual de Fitopatología y I Reunión de Fijación Biológica del Nitrógeno. Guatemala.

INDICE DE AUTORES
AUTHORS INDEX

451

- Aguilar A., J.S. 213
Aguilar C., I. 213
Aguilera G., L.I. 323, 445
Alcántar G., G. 408
Alcántar R., J.J. 297
Alegre O., J.C. 117
Alvarado B., Ma. De J. 323, 445
Amado A., J.P. 362
Aveldaño S., R. 150, 159
- Baca C., G.A. 282
Becerra M., A. 354
Bellot M., J. 11
Benavides S., J. De D. 393
Bolland, M.D.A. 79
- Caballero H., F. 297
Cabrera, A. 37
Casanova O., E. 106
Chicco, C.F. 125
Cortés, J. 135
- De la Fuente M., J.M. 345
De la Isla B., L. 383
Diaz, A. 30
- Etchevers B., J.D. 383
- Ferrera C., R. 317, 329, 338
Flores G., J.G. 393
Frias H., J. 323, 445
Furnari, S. 23
- Gavi R., F. 17
Galván T., I.A.
Galvis S., A. 383
García M., A. 251
Gichuru, N. 117
Gilkes, R.J. 79
Godoy A., C. 311, 423
Godoy De L., S. 125
González A., I.J. 150
González Ch., Ma. Del C. 338
González V., A. 414
Guevera D., L. 401
Guzman E., C. 50, 74
- Hernández, T. 383
Herrera V., R. 264
Huizar A., R. 401
- Inzunza I., M.A. 289, 437
Issa, O. 23
- Laird, R.J. 135
León, L.A. 3
Lopez De R., I. 66
- Méndez G., T. 401, 414
Mojarro D., F. 289, 437
Morales, F. 23
Moreno D., R. 159, 225
Moreno D., L. 437
Moreno R., O. 259
Muñoz V., A. 431
- Nieves, L. 66
Núñez E., R. 17
- Ojeda T., E. 354
Olalde P., V. 323, 445
Oleschko, K. 373
Ortega B., R. 43
Ortiz C., A. 317
Ortiz S., M. 354
Ortiz V., M. 150
Osuna C., F.J. 225
- Pastrana A., L. 56
Peña C., J.J. 345
Pereira D., D. 213
Pérez, M.J. 30
Pérez Z., O. 240
Puente F., F. 50
- Quintero L., R. 317
- Reyes J., I. 311
Rivera R., J.L. 213
Rodríguez, R. 23
Rodríguez M., Ma. De las N. 329
Rojas W., C. 43
Ruiz R., J. 169, 181, 192, 203
Ruiz V., J. 264
- Salazar G., M. 259
Salazar G., R. 259
Sánchez, P.A. 117
Sandoval V., M. 282, 408
Santizo R., J.A. 282
Serna P., A. 273
- Tapia V., L.M. 297, 304, 431
Tirado T., J.L. 282, 408
Tovar S., J.L. 354
Turrent F., A. 135, 150, 159, 169,
181, 192, 203, 225
- Vazquez N., G. 345
Vega P., A. 304
Velasquez V., M.A. 273
Villamar H., V. 414
Villegas, R. 37
Volke H., V. 135, 251
- Zulueta R., R. 213
Zúñiga G., J.L. 159, 169, 181, 192, 203

**REVISORES QUE HAN COLABORADO CON LA
REVISTA TERRA DURANTE 1994**

M.C. RAFAEL ACOSTA HERNANDEZ, Montecillo
 DR. ANDRES AGUILAR SANTELISES, Chapingo
 DR. GABRIEL ALCANTAR GONZALEZ, Montecillo
 DR. MANUEL ANAYA GARDUÑO, Montecillo
 DR. HECTOR M. ARIAS ROJO, México
 M.C. RAMON ARTEAGA RAMIREZ, Chapingo
 DR. GUSTAVO BACA CASTILLO, Montecillo
 M.C. PATRICIA BARCENAS ABOGADO, México
 DR. JESUS CABALLERO MELLADO, Cuernavaca
 DR. LENOM J. CAJUSTE, Montecillo
 M.C. ROGELIO CARRILLO, Montecillo
 DR. JAVIER Z. CATELLANOS, México
 DR. JOSE I. CORTES FLORES, Montecillo
 DR. DIDIER DUBROEUCQ, Francia
 DR. LUIS FERNANDO FLORES LUI, México
 DR. DIEGO R. GONZALEZ EGUIARTE, Jalisco
 M.C. MA. DEL CARMEN GONZALEZ CH., Montecillo
 DR. RONALD FERRERA-CERRATO, Montecillo
 M.C. MARCO A. INZUNZA IBARRA, Durango
 DR. REGGIE J. LAIRD, Montecillo
 DR. ALFONSO LARQUE SAAVEDRA, Montecillo
 M.C. ARMANDO LEGASPI GUZMAN, Zacatecas
 M.C. GUILLERMO MEDINA G., Zacatecas
 DR. ROBERTO NUÑEZ ESCOBAR, Montecillo
 DR. ABEL MUÑOZ OROZCO, Montecillo
 M.C. ENRIQUE OJEDA TREJO, Montecillo
 DR. VICTOR OLALDE PORTUGAL, Irapuato
 DRA. KLAUDIA OLESCHKO, México
 DR. JOSE LUIS OROPEZA MOTA, Montecillo
 DR. MANUEL ORTEGA ESCOBAR, Montecillo
 M.C. CARLOS ORTIZ SOLORIO, Montecillo
 DR. ENRIQUE PALACIOS VELEZ, Montecillo
 DR. OSCAR L. PALACIOS VELEZ, Montecillo
 DR. IVAN VIDAL PARRA, Montecillo
 DR. JUAN JOSE PEÑA CABRIALES, Guanajuato
 DR. BENJAMIN PEÑA OLVERA, Puebla
 ING. SAMUEL PEREZ NIETO, Chapingo
 ING. LUCIANO POOL NOVELO, Chiapas
 DR. CHRISTIAN PRAT, Francia
 DR. RUBEN PUENTES, México
 DR. PAUL QUANTIN, Francia
 M.C. CARLOS RAMIREZ AYALA, Montecillo
 DR. HECTOR H. REBOLLEDO, Chapingo
 M.C. JOSE D. RIOS BERBER, Montecillo
 DR. JOSE LUIS RODRIGUEZ ONTIVEROS, Montecillo
 DR. PROMETEO SANCHEZ GARCIA, Montecillo
 M.C. CHRISTINA SIEBE, México
 DR. VALENTINO SORANI, México
 DR. LEONARDO TIJERINA CHAVEZ, Montecillo
 DR. JUAN LUIS TIRADO TORRES, Montecillo
 M.C. JORGE L. TOVAR SALINAS, Montecillo
 DR. ANTONIO TRINIDAD SANTOS, Montecillo
 DR. ANTONIO TURRENT FERNANDEZ, Montecillo
 DR. JAIME X. UVALLE BUENO, Sonora
 DR. RIGOBERTO VAZQUEZ ALVARADO, Nuevo León
 DR. VICTOR VOLKE HALLER, Montecillo

NORMAS PARA PUBLICACION EN

TERRA

TIPO DE MANUSCRITO PARA PUBLICACION

La Revista TERRA acepta trabajos en español, inglés, francés y portugués (los idiomas que se hablan en América), sobre temas relacionados con la Ciencia del Suelo y el Agua. Estos pueden ser Artículos Científicos, Notas de Investigación, Ensayos o Revisiones de Literatura, Cartas al Editor, y Reseñas de Libros. Se entiende por Artículo Científico aquél basado en un trabajo de investigación en que se ha aplicado en forma rigurosa el método científico y se ha estudiado el efecto que tienen diferentes tratamientos sobre la respuesta medible de un sistema, como metodología para comprobar o rechazar una hipótesis claramente establecida como objetivo del trabajo.

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

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

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

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

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

CONTENIDO DEL MANUSCRITO

Los Artículos Científicos y las Notas Científicas que se presenten deberán constar de las siguientes partes: 1) Título; 2) Autor(es); 3) Institución(es) responsable(s) del trabajo y dirección de los autores; 4) Resumen; 5) Palabras clave; 6) Summary; 7) Index words; 8) Introducción, la cual, aparte de la motivación e importancia de los objetivos, deberá incluir aquellos aspectos más importantes, relativos al tema central (revisión de literatura); 9) Materiales y Métodos, donde se indique claramente el (los) método(s) experimental(es) empleado(s) para dar respuesta a las hipótesis del trabajo; 10) Resultados y Discusión; 11) Conclusiones; y 12) Literatura Citada. El Comité Editorial podrá aceptar algunas modificaciones a esta estructura, cuando el tenor del texto así lo aconseje.

Los Ensayos o Revisiones de Literatura deberán constar de las siguientes partes: 1) Título; 2) Autor(es); 3) Institución donde se desarrolló el trabajo; 4) Resumen; 5) Palabras clave; 6) Summary; 7) Index

Nota: Los manuscritos deberán enviarse con original y dos copias, escritos a doble espacio, a:
Editor de la Revista TERRA,
Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo, A.C.
Apartado Postal 45,
56230 Chapingo, Edo. de México.
México.

Versión revisada 07*94.
1,000 ejemplares.

words; 8) Introducción; 9) Desarrollo del tema, con los subtítulos que se estimen convenientes; 10) Discusión, cuando proceda; 11) Conclusiones; y 12) Literatura Citada.

Las Cartas al Editor y las Reseñas de Libros no tienen un formato definido, pero no deberán exceder de dos cuartillas a máquina y a doble espacio.

FORMATO DEL MANUSCRITO

Los trabajos deben enviarse mecanografiados en papel tamaño carta a doble espacio dejando márgenes de 2.5 cm en los cuatro costados y con las líneas numeradas. Las páginas, incluyendo los Cuadros y las Figuras, se numerarán progresivamente. El texto no deberá exceder de 20 páginas, aunque la extensión ideal es de 15 para un **Artículo Científico** y de 8 para una **Nota Científica**. Cada Cuadro o Figura se incluirá en una hoja aparte con su correspondiente número de identificación con lápiz de grafito suave en el reverso. Las leyendas correspondientes se mecanografiarán en hojas aparte (una hoja para cada Cuadro o Figura). Los Cuadros y las Figuras contendrán sólo la información esencial y en ningún caso repetirán los datos que se presenten en otra forma. Las unidades que se empleen serán las del Sistema Internacional de Unidades.

ESPECIFICACIONES PARA EL FORMATO

Título. El título se escribirá con mayúsculas, al inicio y al centro de la página. Se colocará su traducción al inglés, a dos espacios sencillos debajo del título en español. El título en inglés se escribirá con minúsculas, excepto la primera letra de cada palabra. El título deberá ser breve e indicar en forma precisa la naturaleza y contenido del artículo. Un título largo no es necesariamente el mejor. Así, por ejemplo: "Fijación de Fósforo en un Andosol de Colima" es mejor que "Determinación de la Cantidad de Fósforo Fijado en los Horizontes A y B de un Perfil Alterado en un Suelo Andosol del Estado de Colima".

Autores. Se incluirá el nombre del autor o autores en la manera en que éstos acostumbran escribirlo en sus publicaciones. Se sugiere adoptar una forma breve para toda la vida. Ejemplo: Roberto Núñez E., J. H. Miranda P. o R. Ferrera-Cerrato. Esto ayuda a evitar confusión y a identificar fácilmente a los autores. No se usarán títulos ni grados. La primera letra del nombre y apellidos se escribirán con mayúsculas. Los nombres de los autores se separarán por comas, se centrarán en la página y se escribirán a cuatro espacios debajo del título en inglés y centrados respecto de los márgenes.

Institución(es) patrocinante(s) y dirección de los autores. El objetivo de esta parte del artículo es dar el crédito respectivo a la institución que patrocinó el trabajo y que los lectores puedan contactar a los autores en caso necesario; la dirección postal debe quedar claramente especificada. Ejemplo: Centro de Edafología, Colegio de Postgraduados, Montecillo, Méx. o Departamento de Suelos, UACH, Chapingo, México. Esta identificación se escribirá con minúsculas, excepto las siglas, a dos espacios sencillos debajo de los autores.

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

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

Título de primer orden. Es el título principal del artículo y siempre se escribe con mayúsculas, al inicio del artículo, centrado respecto a los márgenes.

Títulos de segundo orden. A este tipo corresponden las diferentes partes del artículo: Resumen, Summary, Introducción, etc. Se escriben con minúsculas, excepto las primeras letras de cada palabra. Se ubican a tres espacios simples abajo del último renglón escrito. El texto que le sigue se escribirá a dos espacios simples después del título.

Títulos de tercer orden. Se escriben al margen izquierdo, con minúsculas, excepto la primera letra de las palabras, y se subrayan. Se ubican a dos espacios sencillos debajo del último escrito. El texto comienza a escribirse a dos espacios sencillos después del título.

Títulos de cuarto orden. Se escriben al margen izquierdo con minúsculas, excepto la primera letra. Van subrayados y con punto final sin dejar sangría, como en el presente párrafo. Si hubiera necesidad de títulos de mayor orden, se seguirán las normas recién indicadas, pero éstos se colocarán con una sangría de cinco espacios contados a partir del margen izquierdo, para el de quinto orden, y mayor, para el de sexto orden.

Resumen. Esta sección debe sintetizar, en aproximadamente 300 palabras, los aspectos más importantes del trabajo, esto es, su motivación, importancia, método experimental (cuando corresponda) y las conclusiones más importantes. La palabra Resumen se escribe como título de segundo orden.

Palabras clave. A dos espacios sencillos abajo del texto anterior y al margen izquierdo y con minúscula, se escribe: Palabras clave, seguido de dos puntos y a continuación las palabras que el autor considere clave para su trabajo, las que deberán ser distintas de las empleadas en el título.

Summary. Se siguen las mismas normas que para el Resumen en español. Esta sección es básica para darle difusión internacional a la revista. La palabra Summary se escribe como título de segundo orden.

Index words. Se seguirán las instrucciones dadas para Palabras clave, pero estas últimas se escribirán en inglés.

Introducción. En esta sección se indica la motivación, la importancia y los objetivos del trabajo que llevan implícitas las hipótesis del trabajo. Contiene, además, los aspectos más relevantes del tema, tratados por otros autores e identificados en la Revisión de Literatura. La Introducción no debe exceder de tres cuartillas a doble espacio. La palabra Introducción se escribe como título de segundo orden.

Materiales y Métodos. Esta sección debe describir las características relevantes de los materiales usados en el estudio y los métodos experimentales empleados. Se le debe dar particular importancia a la descripción del método experimental utilizado para lograr los objetivos planteados. Debe mostrar concordancia plena con las hipótesis. Así por ejemplo, si el propósito de un trabajo es determinar el efecto de la adición de estiércol vacuno en la mineralización del nitrógeno del suelo, deberá describirse el experimento que permitió medir este efecto. Los revisores tendrán muy en cuenta la concordancia entre objetivos y los métodos experimentales empleados. Las palabras Materiales y Métodos se escriben como título de segundo orden.

Resultados y Discusión. Aquí se incluyen los resultados obtenidos en la investigación. Estos se presentarán en forma de Texto, Cuadros o Figuras, estos últimos no deberán duplicar la información presentada en el texto. La información presentada en Cuadros y Figuras tampoco deberá duplicarse, e incluirá resultados que puedan ser fácilmente calculables. Ejemplo: presentar en una columna el rendimiento en g/m^2 y en otra en kg/ha . En la Discusión se resaltarán los principios más importantes y las relaciones causa-efecto derivadas del análisis de los resultados. Además, se deberá explicar, en función de las observaciones hechas, el porqué de lo observado. Los resultados obtenidos se compararán con los de otros investigadores y se señalarán las divergencias y las semejanzas. Los Resultados y la Discusión deben tener los mismos subtítulos, si es que los hay, de la sección de Materiales y Métodos.

Las palabras Resultados y Discusión se escriben como título de segundo orden.

Conclusiones. Las primeras conclusiones que se presenten deben ser aquellas correspondientes a los objetivos planteados. Se pueden incluir, además, otras conclusiones relevantes y recomendaciones que emanen del trabajo. La palabra Conclusiones se escribe como título de segundo orden.

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

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

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

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

Efecto de la inoculación de *Azospirillum* sp. en
Phaseolus vulgaris L. inoculado con *Rhizobium* spp.

MA. DE J. ALVARADO B.,

L.I. AGUILERA G.,

J. FRIASH. y

V. OLALDE PORTUGAL