



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

ISSN 0187-5779

TERRA

Volumen 7

Enero - Junio 1989

Número 1

DIVISION I

INDICE

DIVISION II

- L**os tepetates de origen volcánico en México.
Esquema preliminar de clasificación.
**D. DUBROEUCQ, P. QUANTIN y
C. ZEBROWSKI** 3
- Análisis de boro en suelos y plantas mediante
el método de azometina-H.
S. A. ENRIQUEZ R. 13

- E**valuación del estado nutrimental del cultivo
de durazno (*Prunus persica* L.) utilizando
la técnica DRIS.
R. ZARATE Z. y M. A. VERGARA S. 21
Tamaño y número de estomas en tres
variedades de sorgo con y sin riego.
G. BRIONES S. e Y. DELGADO H. 30
Estratificación agroclimática del estado de
Guanajuato.
R. TERRONES R. y C. MEJIA A. 40
Efecto de la lombriz de tierra (*Lumbricus
terrestris*) sobre el crecimiento de sorgo (*Sorghum
vulgare*) en condiciones de invernadero.
R. E. GARCIA-PEREZ. y J. ROMERO F. 50
Efecto de cuatro años de estercolamiento
sobre algunas características del suelo y el
rendimiento de forrajes.
**J. Z. CASTELLANOS, G. A. LONGORIA y
J. A. MUÑOZ** 57
Productividad de un patrón de cultivos
regado por tandeos.
G. BRIONES S. 64
Especificación de problemas identificados en
un diagnóstico agrícola: caso del abatimiento del
acuifero.
F. G. ECHAVARRIA CH. 71

ENSAYO

c/608
D\$ 10.

EDITORIAL

1

COMISION EDITORA

DR. JORGE D. ETCHEVERS B., Editor
DR. ANDRES AGUILAR SANTELISES
SRA. CARELINA C. AALMERS DE AGUILAR
Q.A. ADRIANA DELGADO ALVARADO

MESA DIRECTIVA 1988-1990

DR. ANDRES AGUILAR SANTELISES,
Presidente
DR. LUIS FERNANDO FLORES LUI,
Vicepresidente
DR. JORGE BAUS PICARD †
M.C. MIGUEL ANGEL VERGARA SANCHEZ,
Secretario General
M.C. JOSEFINA PAREDES GONZALEZ,
Tesorero
DR. GABRIEL ALCANTAR GONZALEZ,
Secretario Técnico
DR. RAMON FERNANDEZ GONZALEZ,
Secretario de Relaciones Públicas
M.C. JORGE L. TOYAR SALINAS,
Secretario de Eventos Nacionales e Internacionales
DR. JAIME XAVIER UVALLE BUENO,
Vocal
M.C. OCTAVIO RODRIGUEZ CURIEL,
Vocal

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

Volumen 7-1, enero-junio 1989.

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.

ARTICULOS CIENTIFICOS

División I: Diagnóstico, Metodología y Evaluación del Recurso Suelo

- Los tepetates de origen volcánico en México. Esquema preliminar de clasificación. DIDIER DUBROEUCQ, PAUL QUANTIN y CLAUDE ZEBROWSKI. 3
- Análisis de boro en suelos y plantas mediante el método de azometina-H. SERGIO A. ENRIQUEZ REYES. 13

División II: Relación Suelo-Clima-Biota

- Evaluación del estado nutrimental del cultivo de durazno (Prunus persica L.) utilizando la técnica DRIS. RAFAEL ZARATE ZARATE y MIGUEL ANGEL VERGARA SANCHEZ. 21
- Tamaño y número de estomas en tres variedades de sorgo con y sin riego. GREGORIO BRIONES S. e YSIDRO DELGADO H. 30
- Estratificación agroclimática del estado de Guanajuato. ROSARIO TERRONES R. y CARLOS MEJIA A. 40
- Efecto de la lombriz de tierra (Lumbricus terrestris) sobre el crecimiento de sorgo (Sorghum vulgare) en condiciones de invernadero. RAFAEL E. GARCIA-PEREZ y JUANA ROMERO FLORES. 50
- Efecto de cuatro años de estercolamiento sobre algunas características del suelo y el rendimiento de forrajes. JAVIER Z. CASTELLANOS, GERARDO A. LONGORIA y JESUS A. MUÑOZ. 57
- Productividad de un patrón de cultivos regado por tandeos. GREGORIO BRIONES S. 64
- Especificación de problemas identificados en un diagnóstico agrícola: caso del abatimiento del acuífero. FRANCISCO G. ECHAVARRIA CH. 71

ENSAYO

- Comportamiento del carbofurán en dos suelos agrícolas drenados. Estudios en el campo y en el laboratorio. J. ACHIK y M. SCHIAVON. 81

SOIL SCIENCE SOCIETY OF MEXICO

INDEX

EDITORIAL BOARD

DR. JORGE D. ETCHEVERS B., Editor
 DR. ANDRES AGUILAR SANTELISES
 MRS. CARELINA C. AALMERS DE AGUILAR
 MISS. ADRIANA DELGADO ALVARADO

BOARD OF DIRECTORS 1988-1990

DR. ANDRES AGUILAR SANTELISES,
 President
 DR. LUIS FERNANDO FLORES LUI,
 Vice-president
 DR. JORGE BAUS PICARD †
 M.C. MIGUEL ANGEL VERGARA SANCHEZ,
 Secretary-general
 M.C. JOSEFINA PAREDES GONZALEZ,
 Treasurer
 DR. GABRIEL ALCANTAR GONZALEZ,
 Technical Secretary
 DR. RAMON FERNANDEZ GONZALEZ,
 Secretary for Public Relations
 M.C. JORGE L. TOVAR SALINAS,
 Secretary for National and International Events
 DR. JAIME XAVIER UVALLE BUENO,
 Member
 M.C. OCTAVIO RODRIGUEZ CURIEL,
 Member

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

Volume 7-1, January-June 1989.

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.

SCIENTIFIC ARTICLES

*Division I: Diagnosis, Methodology and Evaluation of
 the Soil Resource*

Mexico's tepetates of volcanic origin: an initial
 project of classification. DIDIER DUBROEUCQ,
 PAUL QUANTIN and CLAUDE ZEBROWSKI..... 3

Boron analysis in soils and plants by the
 azomethine-H method. SERGIO A. ENRIQUEZ
 REYES. 13

Division II: Soil-Climate-Biota Relationship

Nutritional state evaluation of peach (Prunus
 persica L.) cultivation by using the DRIS technique.
 RAFAEL ZARATE ZARATE and MIGUEL AN-
 GEL VERGARA SANCHEZ. 21

Size and number of stomata from irrigated and non-
 irrigated sorghum leaves. GREGORIO BRIONES S. and
 YSIDRO DELGADO H. 30

Agroclimatic zonification of Guanajuato state.
 ROSARIO TERRONES R. and CARLOS MEJIA A.... 40

Effect of the earthworm (Lumbricus terrestris) on
 the growth of sorghum (Sorghum vulgare) under
 greenhouse conditions. RAFAEL E. GARCIA-
 PEREZ and JUANA ROMERO FLORES..... 50

Effect of manuring during four years on some soil
 characteristics and on forage yields. JAVIER Z.
 CASTELLANOS, GERARDO A. LONGORIA and
 JESUS A. MUÑOZ. 57

Productivity of a crop pattern irrigated under a
 water distribution system by turns. GREGORIO
 BRIONES S. 64

Specifications of problems identified in
 agricultural diagnosis: case of the lowering of the
 ground water level. FRANCISCO G. ECHAVARRIA
 CH. 71

ESSAY

Carbofuran behavior in two drained agricultural
 soils. Field and laboratory studies. J. ACHIK and
 M. SCHIAVON. 81

EDITORIAL

¡Marzo de 1990! y aún no logramos alcanzar la codiciada meta de colocar TERRA al día. Sin embargo, no es por falta de esfuerzo del grupo editorial; la escasez de recursos, la falta de experiencia en el oficio, nuestro afán perfeccionista se confabulan contra los deseos.

Mientras escribo estas letras, nuestra editora administrativa da los toques finales de este número 1 de 1989, monta aceleradamente el próximo envío a prensa del número 2, que ya está cerrado, y corrige una, dos, tres y mil veces los originales que comprenderán el número 1 del volumen 8 de 1990. Es decir, nos acercamos a la meta.

Al bordear TERRA los 10 años de vida hemos inducido algunos cambios acelerados de orden técnico, y hemos observado otros cambios espontáneos, que comentamos a continuación. Los primeros son: la incorporación del procesamiento electrónico de la preparación del material que se envía a imprenta; la apertura de la revista al idioma inglés; y el manejo de artículos en forma electrónica. Invitamos a aquellos colaboradores interesados que piensen que sus trabajos tendrían una mayor transcendencia en los lectores si fuesen escritos en otra lengua a enviarnos sus manuscritos, siguiendo siempre las normas editoriales de la revista. La idea es abrir esta publicación a todos los idiomas de nuestra América. El tercer cambio técnico, aun cuando no se ha tomado una acción definitiva al respecto, es que nos hemos aventurado a aceptar trabajos editados electrónicamente en diskettes de 5 1/2 2S/2D, empleando el procesador de palabras Word Star. Si Ud. quiere ayudarnos a experimentar esta modalidad, será bienvenido (enviar diskette más un ejemplar impreso con figuras originales y dos copias). Cuide que el material no vaya a sufrir daño durante el envío, y siempre guarde un back-up.

Un aspecto de orden no técnico, que nos preocupa profundamente por las implicaciones éticas que conlleva, es la tendencia que hemos observado de ciertos autores a dividir sus trabajos en más unidades de publicación que las técnicamente recomendable. Suponemos que esta actitud es producto de la necesidad de satisfacer ciertas demandas mínimas de productividad impuestas por el Sistema Nacional de Investigadores. Por la necesidad que tenemos de proteger tan loable iniciativa, apelamos a todos nuestros colaboradores a examinar críticamente este aspecto. Además del problema ético señalado, existe un problema editorial. Es recomendable que los artículos seriados o relacionados entre sí sean manejados por un mismo revisor técnico, lo cual significa tener que abusar de la buena voluntad de éstos. El trabajo de los revisores técnicos es estrictamente voluntario y no remunerable, por lo que debemos guardar las debidas consideraciones hacia ellos.

Hasta el próximo número.

El Editor.

DIVISIONES Y DISCIPLINAS

División I: Diagnóstico, Metodología y Evaluación del Recurso Suelo

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

División II: Relación Suelo-Clima-Biota

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

División III: Aprovechamiento del Recurso Suelo

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

División IV: Educación y Asistencia Técnica

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

LOS TEPETATES DE ORIGEN VOLCANICO EN MEXICO ¹⁾

Esquema preliminar de clasificación

Mexico's Tepetates of Volcanic Origin: An Initial Project of Classification

Didier Dubroeuq ²⁾, Paul Quantin ²⁾, Claude Zebrowski ³⁾

²⁾ ORSTOM, 70-74 route d'Aulnay - 93143 Bondy Cedex, Francia

³⁾ Centro de Edafología, Colegio de Postgraduados, 56230 Montecillo, Méx.

Palabras clave: Duripán, Fragipán, Génesis, Cartografía.

Index words: Duripan, Fragipan, Genesis, Survey.

RESUMEN

Los autores, después de haber recopilado los diferentes puntos de vista de varios investigadores acerca del origen de los tepetates y hacer sus propias observaciones en el campo, concluyen que el origen de esas formaciones duras puede ser geológico y/o pedológico. En este trabajo se presentan los principales procesos de endurecimiento, tanto geológicos como pedológicos, así como los principales tipos de tepetates que se encuentran en las regiones de México, Tlaxcala y Xalapa (Ver.). Algunos tepetates son volcanogénicos

mientras que otros son pedológicos. Estos últimos tienen como cementantes sílice y/o carbonatos, que se depositan por evaporación de las soluciones del suelo enriquecidas con estos elementos. La única fuente de calcio es la hidrólisis de los vidrios y minerales volcánicos, mientras que la sílice puede provenir también de la alteración de las arcillas por un proceso de ferrólisis.

La distribución en climosecuencias y cronosecuencias de los diferentes tipos de tepetates evidencia la importancia de la pedogénesis.

A continuación se expone un primer intento de clasificación de los tepetates, así como algunas características útiles para su cartografía.

SUMMARY

The authors reviewed the work of several scientists regarding the origin of tepetates and carried out their own field observations and concluded that the origin of these formations can be geologic and/or pedologic.

The main processes of geologic and pedologic hardening were reviewed and the major types of tepetate of Mexico, Tlaxcala

¹⁾ Este trabajo se realizó en el marco de un proyecto financiado por la C.E.E. (Contrato No. TS2-0212-C) en el cual cooperan: Colegio de Postgraduados, Montecillo; Universidad Aut. de Tlaxcala y Gobierno del estado de Tlaxcala; Universidades de Gand (Bélgica) y de Giessen (RFA); ORSTOM (Francia).

INTRODUCCION

and Xalapa regions described. Some tepetates are of geologic origin, while others are pedologic. The latter are cemented with silica and/or carbonates which are concentrated through evaporation of the soil solutions rich in these elements. Hydrolisis of volcanic glasses and minerals is the main process which yields calcium, the silica may come from the clay alteration by a process of ferrolisis.

The distribution of the different types of tepetates according to climatic and chronosequences, shows the importance of pedogenesis in these formations.

This paper gives a first approximation for the classification and some useful characteristics for surveying the tepetates.

La palabra "tepetate" (del Nahuatl tetl y petatl) significa "colchoneta de piedra" (Werner, 1986), es decir, capa dura con consistencia de piedra. En la parte central de México, los tepetates provienen en su mayoría de productos volcánicos piroclásticos. Una evaluación de la extensión que ocupan estos materiales se puede obtener a partir de los mapas pedológicos a escala 1/1.000.000 (SPP/INEGI) los cuales incluyen los tepetates dentro de los suelos con fase dúrica (Figura 1). Estos suelos aparecen localizados principalmente en el altiplano entre 1800 y 2900 msnm y en las zonas relativamente secas (precipitación < 1000 mm).

Algunos tepetates se endurecieron bajo efectos de procesos geológicos, mientras que otros son paleosuelos endurecidos con

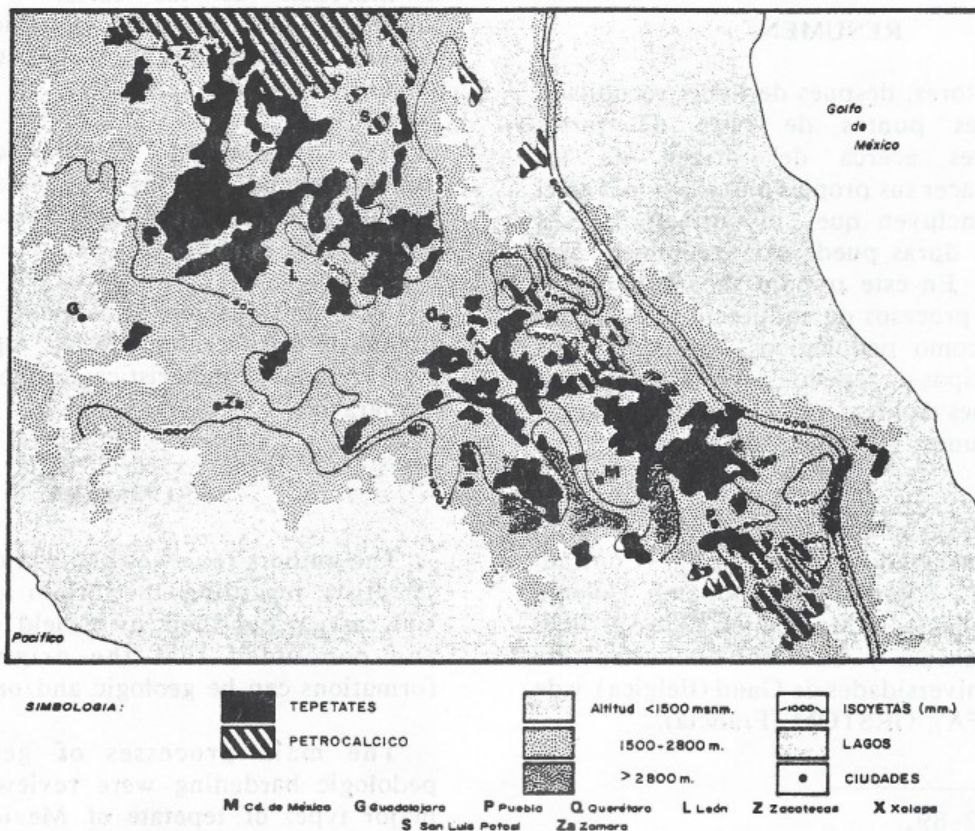


Figura 1. Localización de los tepetates.

cementantes (silice y/o caliza) provenientes de una evolución pedológica del material inicial, que puede ser un suelo o un depósito piroclástico.

El conocimiento de los diferentes tipos de tepetates sigue siendo todavía ambiguo. Los campesinos mexicanos nombran los tepetates por tres colores: amarillo pardo, rojo y blanco (Pacheco y Estrada, 1987). Miehllich (1978) y Werner (1978) restringieron el término tepetate a los "duripanes" de origen pedológico que corresponden a la silicificación y al endurecimiento de paleosuelos o de toba alterada. Estos autores caracterizaron cuatro grandes tipos de tepetates considerando su color y la edad (12 a 26 mil años A.P. y anteriores a la última época glaciár) del material parental piroclástico: D1, gris claro; D2, café amarillento; D3, café claro; D4, gris. Además de los tepetates se encuentran encostramientos duros o friables de carbonatos que son también de origen pedológico.

Nimlos (1987a) reconoce que la definición de tepetates es confusa. Propone restringir su uso sólo como "un término local de México para una capa impermeable de suelo formada a partir de toba volcánica". Añade: "este endurecimiento pedogenético, que los pedólogos llaman cementación, por cementantes de silice y carbonatos, está sobrepuesto a una consolidación geológica, pero se dificulta diferenciar, en los tepetates, la cementación pedológica de la geológica; sin embargo, mientras que el endurecimiento por silice es parcialmente geológico y parcialmente pedológico, la cementación por carbonatos es claramente pedogénica" (Nimlos y Ortiz, 1987). Finalmente Nimlos (1987a) propone clasificar los tepetates de la manera siguiente: (1) tepetates sin caliza (es decir con cemento de silice); (2) tepetates⁴⁾ con caliza diseminada (cementos de carbonatos difusos: caliza friable); y (3) tepetates⁴⁾ con caliza laminada (láminas de caliza dura).

4) Tepetates con caliza con o sin cemento de silice.

Nuestras propias observaciones, primero en la región de Xalapa (Veracruz) (Rossignol y Campos, 1987; Quantin, 1986, 1987) y las hechas más recientes en octubre de 1988 con A. Campos y E. Laguna, luego en la región de Tlaxcala con G. Werner y por último en el Valle de México con A. Castillo, M. Ortiz y otros investigadores, nos mostraron claramente que hay relaciones obvias entre los diferentes tipos de tepetates, las secuencias topooclimáticas y pedogenéticas, y las cronosecuencias volcanogénicas.

El objeto de este escrito es revisar algunos principios fundamentales sobre el origen de las formaciones endurecidas (volcanogénicas y pedogenéticas); señalar los tipos más importantes de tepetates en las regiones de Xalapa, Tlaxcala y del Valle de México; mostrar las interrelaciones topooclimáticas, pedogénicas y volcanogénicas con la distribución de los diferentes tipos de tepetates; proponer un cuadro preliminar de clasificación de los tepetates; señalar algunos criterios útiles para la cartografía de los tepetates.

Origen de los Productos Volcánicos Piroclásticos Endurecidos

Los productos piroclásticos endurecidos son originados a partir de dos procesos de cementación: los procesos volcanogénicos y los procesos pedogénicos, los cuales se analizan a continuación.

Procesos volcanogénicos (Fisher y Schmincke, 1984). Se trata principalmente de flujos piroclásticos de tipo "nubes ardientes" o hidromagmáticos y a veces de coladas de barro (lahares) que dan origen a:

Formación de ignimbrita, a partir de gases ardientes a alta temperatura (700 a 900°C), por fusión parcial de vidrios y después soldadura de los piroclastos (lapilli, pómez) con estructura fluidal, sin cemento de neoformación.

Formaciones hidromagmáticas, piroclastos de tipo cinerita, toba, brecha, nódulos

de acreción de cenizas, etc., consolidados por alteración hidrotermal a temperatura moderada (200 a 500°C) y disolución parcial de los vidrios en presencia de gases y fluidos ácidos tales como $H_2O_2 + HF, HCl, NO_2, CO_2, SO_2$, etc. y después cementados por los productos de alteración que son en su mayoría la sílice, las arcillas, y los óxidos metálicos.

Formaciones de lahares fríos o poco calientes. Estos lahares son coladas de avalancha resultado de la fusión de un glaciar después de una erupción volcánica, y llamadas lahares fríos (por ejemplo, Nevado del Ruíz en Colombia); o debidas a la ruptura de un lago de aguas calientes y ácidas (< 100°C) de un cráter volcánico y llamadas lahares calientes (por ejemplo, el volcán Kelert en Indonesia). Ambas formaciones presentan poca cementación.

Procesos Pedogénicos

Endurecimiento sin cementación, reversible: se produce por la compactación y la desecación de suelos muy arcillosos (Vertisoles, Cambisoles, Ferralsoles, Luvisoles) como consecuencia de una alternancia estacional entre expansión y contracción de arcillas expandibles, de tipo esmecticta y haloisita, y de un proceso de iluviación o de neosíntesis de arcillas en la parte inferior del suelo. El endurecimiento por desecación al aire es reversible por rehidratación del suelo.

Endurecimiento por cementación, reversible⁵⁾ (fragipán) o irreversible⁵⁾ (duripán); se produce después de la desecación al aire, y se debe a un proceso periódico de concentración de iones en solución (Si, Ca, Mg, etc.) en la parte superior del suelo, consecutivo a la evapotranspiración durante la estación seca; después de precipitar, los óxidos (SiO_2) y las sales (carbonatos de Ca-Mg) se cristalizan, lo

que ocasiona la cementación del material subyacente.

Endurecimiento por cementación irreversible: se produce por la acumulación de óxidos e hidróxidos de Al, Fe, Mn (etc); como consecuencia de un proceso complejo de movilización (por ácido complejólisis o reducción), redistribución, precipitación (por concentración u oxidación), cristalización, y al final endurecimiento (acreciones, concreciones y encostramientos) de los óxidos e hidróxidos de aluminio, hierro, manganeso. Esta clase de duripán se disuelve solamente en presencia de agentes fuertemente reductores.

El origen de los iones y de las sales (de Si, Ca, Mg, etc.) proviene, en general, de una alteración muy intensa de los vidrios y de los minerales volcánicos por hidrólisis. La sílice y el aluminio provienen además de la alteración de arcillas por un proceso de ferrólisis (liberación de protones y fuerte acidificación, consecutivas de una alternancia entre la oxidación y la reducción del hierro: Brinckmann, 1970), o por un proceso de ácido complejólisis (en suelos muy ácidos, con alto contenido de materia orgánica, se forman complejos organo-metálicos de Al y Si con los ácidos húmicos). El hierro y el manganeso provienen igualmente de un proceso de reducción (hidromorfía) o de ácido-complejólisis.

Los Principales Tipos de Tepetates de Origen Volcánico de los Valles de México, de Tlaxcala y de la Región de Xalapa (Ver.).

A continuación se señalan algunos tipos de tepetates clasificados según su origen, observados en las regiones mencionadas en el título.

Origen Volcanogénico

- ignimbritas: sin alteración de los vidrios;
- cineritas, tobas y brechas: con alteración hidrotermal de los vidrios y cementación. Tienen permeabilidad leve o nula y dureza variable;

⁵⁾ Después de desecación al aire.

- lahares frios; es un material mixto constituido de productos volcánicos de tamaño variable, inalterados o poco alterados.

Origen Pedogénico

Con cemento de caliza. La acumulación de carbonatos en los suelos es obvia. En el caso de los andosoles vítricos, en el clima subárido de la región de Perote (Ver.), el calcio proveniente de la hidrólisis de los vidrios y de los minerales volcánicos se acumula en forma difusa (seudomicelios) con endurecimiento débil, o en costra friable de forma más o menos laminar, en la parte inferior del suelo.

En los suelos complejos en clima subárido del Valle de México, se observan abajo del suelo actual acumulaciones de carbonatos de Ca y de Mg, provenientes de la hidrólisis de los minerales volcánicos, sea en forma difusa y friable en la matriz de un paleo-horizonte Bt o C, o sea, en forma laminar densa y dura dentro de las grietas de una toba poco intemperizada.

Con cemento de sílice. Al contrario de la cementación por carbonatos, aquella por sílice, mencionada por varios autores, es más difícil de evidenciar. En el caso de los Andosoles vítricos de clima templado subárido en la región de Perote (Ver.) se observan macromorfológicamente acumulaciones de sílice dentro del material subyacente en forma discontinua a lo largo de los macroporos y de las grietas, o en forma de encostramiento laminar continuo (silcrete), a veces ligado a óxidos de hierro y caliza friable.

En los suelos complejos constituidos por depósitos piroclásticos y suelos sobrepuestos que se desarrollan en el clima subárido de los valles de México y de Tlaxcala se observan abundantes capas endurecidas (fragipán y/o duripán) en suelos que pertenecen a los Cambisoles (ferrálicos, distrícos, eútricos, vétricos), o los Feozems (lúvicos), o los Luvisoles (háplicos, vétricos). No es posible reconocer, como en el caso de suelos de la región de Perote, costra y revestimientos de sílice. Pero según Aeppli (1973) este endurecimiento se debe a la acumulación

proveniente de la hidrólisis de los vidrios y de los minerales volcánicos en los horizontes inferiores del perfil al contacto con un depósito anterior más o menos meteorizado. Miehlisch (1984) confirmó el enriquecimiento en sílice mediante métodos químicos de laboratorio pero no pudo identificar revestimientos de sílice.

En la región noreste de Xalapa, los suelos con arcilla de tipo haloisita, proceden de materiales piroclásticos o de basalto y pertenecen a los Cambisoles ferrálicos, Cambisoles vétricos y Luvisoles vétricos. En ellos se nota la presencia de ferriargilanes sobre las paredes de las grietas horizontales y verticales y de nódulos de hierro y de manganeso en la matriz. Además, la microestructura de unos horizontes, similar a aquella que se encuentra en los horizontes típicos de los planosoles sugiere que un proceso de ferrólisis, que ocurre en clima subtropical con época seca de 3 a 6 meses, destruyendo las arcillas, puede ser el origen de la movilización de la sílice, la cual sería responsable del endurecimiento de los suelos.

Interrelaciones Climáticas, Pedogénicas y Volcanogénicas.

Secuencias topoclimáticas y pedogénicas. La distribución de los suelos y precisamente de los diferentes tipos de tepetates, muestra claramente una relación estrecha entre ellos y varias secuencias topoclimáticas, es decir, con el régimen hídrico y térmico de los suelos. Estas climosecuencias se observan en varias vertientes, tanto en la Sierra Nevada Oeste (Figuras 2 y 3), como en la Malinche (Werner, 1986), y en el Cofre de Perote en su vertiente oriental (Figura 4; Rossignol y Campos, 1987).

En el Valle de México la cementación, supuestamente por acumulación de sílice aparece precisamente al inicio de la zona climática subárida, abajo de la zona húmeda con andosoles (sin tepetates), mientras que más abajo predominan las acumulaciones de caliza en la zona seca. También en la secuencia del

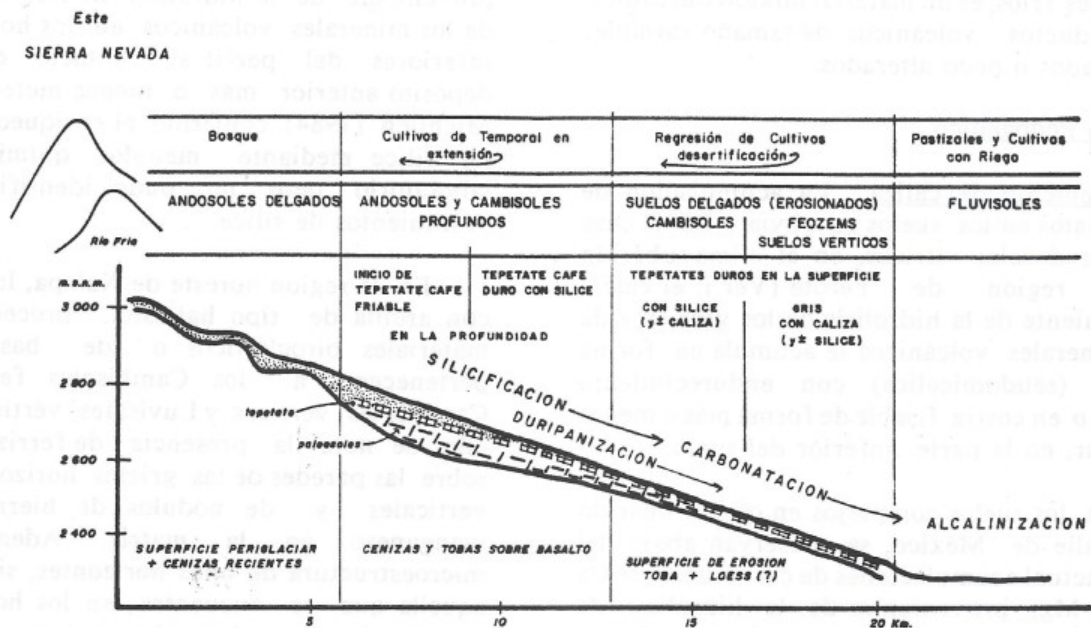


Figura 2. Clima-topo-secuencia de suelos y tepetates de Río Frío, Edo. de México.

Cofre de Perote se observa, cerca de Xalapa, una relación evidente entre el inicio de la zona con período seco y la degradación superficial de los suelos ferralíticos con una silicificación en profundidad. Por tal motivo, el efecto de la pedogénesis aparece de manera evidente.

Muchas formaciones tepetatosas, endurecidas por un cemento de sílice, muestran rasgos evidentes de un suelo anterior, sea un horizonte Bt o por lo menos un depósito piroclástico ya intemperizado con manchas de alteración y tubos de penetración biológica. Ese hecho sugiere un proceso reciente de aridificación del edafoclima.

Las secuencias de silicificación y de carbonatación de los suelos del Valle de México siguen precisamente el modelo normal de precipitación y acumulación, primero de la sílice y luego de la caliza, en relación con una secuencia climática desde lo húmedo hasta lo árido. Esta distribución se comprueba también en el perfil de suelo, donde la sucesión de las precipitaciones de sílice ocurre antes que las de carbonatos. Esto concuerda con las observaciones de Chadwick *et al.* (1987) acerca de duripanes en los Durargids de Nevada (EUA). Entonces, la precipitación de sílice,

como consecuencia de la concentración de iones en solución debido a la evaporación del agua, se produce siempre antes que la precipitación de los carbonatos de calcio.

Interrelaciones Volcanogénicas y Cronológicas

Existe una relación estrecha entre la aparición de los tepetates y ciertos tipos de depósitos piroclásticos poco permeables o muy ricos en sílice. Tal relación se evidencia en la parte inferior de las secuencias del Valle de México donde la concentración laminar de caliza dura se forma precisamente en la superficie de una toba poco intemperizada. También, en los paleosuelos arcillosos, donde la sobreposición de depósitos recientes de cenizas (arenas finas eólicas) muy ricos en vidrios síliceos (púmices riódacíticas), favoreció la acumulación de sílice.

A lo largo de las toposecuencias se evidencia que los diferentes tipos de tepetates iniciaron su formación a partir de unos depósitos volcánicos específicos. Asimismo, se puede establecer una cronosecuencia estratigráfica de los tepetates. Tal es el caso de

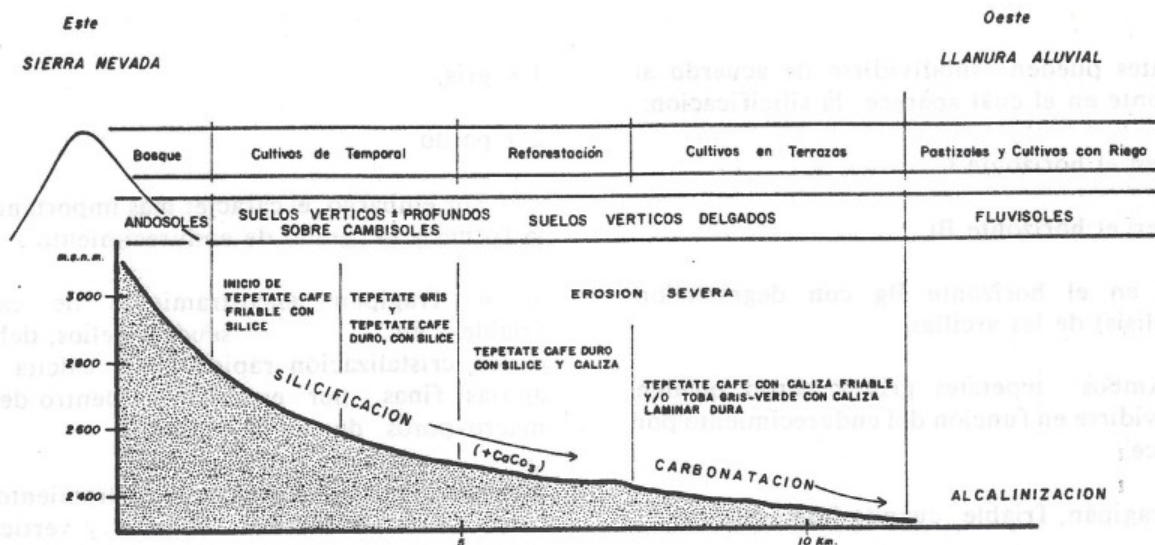


Figura 3. Clima-topo-secuencia de suelos y tepetates al oeste de Chapingo, Edo. de México.

la secuencia de cuatro tipos de tepetates del valle de Tlaxcala (Miehlich, 1978; Werner, 1978).

No hay que olvidar que debajo de un suelo actual pueden existir tepetates inicialmente volcanogénéticos, en los cuales aparecen unos rasgos de intemperismo ligero y a veces una acumulación secundaria de sílice o de caliza; esto significa que se superpone la pedogénesis a un proceso volcanogénético anterior.

Cuadro de Clasificación de los Tepetates

A continuación se presenta una proposición para clasificar los tepetates de acuerdo a su origen y otras características fácilmente identificables.

1. Tepetates Volcanogénicos (TV)

* TVa = de nubes ardientes: ignimbritas

* TVb = hidromagmáticos, con cemento de alteración hidrotermal:

1 = cinerita (piroclastos < 2 mm), 2 = toba (piroclastos 2-64 mm), 3 = brecha (piroclastos > 64 mm angulosos).

* TVq = de alteración débil y cementación secundaria de sílice.

* TVk = de alteración débil y cementación secundaria de caliza.

* x = formación friable de tipo fragipán.

* m = formación dura de tipo duripán.

por ejemplo, una cinerita con cementación friable: TVbx; una toba con cementación dura: TVb2 m.

2. Tepetates Pedogénicos (TE)

* TEq = con cemento predominante de sílice:

1 = de color gris; se encuentran frecuentemente en la parte inferior de un suelo vértico (Feozem, Cambisol vértico, Vertisol) con arcillas de tipo esmectitas y estructura prismática; a veces tienen argilanes y pequeños nódulos ferro-mangánicos, o un poco de caliza friable.

2 = de color pardo (= café, más o menos rojizo); se encuentran dentro de suelos de tipo cambisol ferrálico con haloisita y goetita o de tipo luvisol más o menos arcilloso o limoso; estructura prismática o columnar; muestra varios grados de compactación y de silicificación; a veces presenta argilanes y pequeños nódulos ferro-mangánicos o un poco de caliza friable. Estos

tepetates pueden subdividirse de acuerdo al horizonte en el cual aparece la silicificación:

21 = en el horizonte C

22 = en el horizonte Bt

23 = en el horizonte Bg con degradación (ferrólisis) de las arcillas.

Ambos tepetates gris y pardo pueden subdividirse en función del endurecimiento por la sílice:

x = fragipán, friable cuando húmedo

m = duripán, siempre duro.

* TEk = cementante de caliza principalmente.

Los tepetates cálcicos están relacionados con suelos vérticos de tipo feozem o de tipo cambisol eútrico o vértico y se separan en dos grupos según su color:

1 = gris,

2 = pardo

Sin embargo, el carácter más importante es la forma y el grado de endurecimiento.

x = fragipán: encostramiento de caliza friable en pseudomicelios, debido a una cristalización rápida de la calcita en agujas finas, por evaporación dentro de los macro-poros de un horizonte C.

m = duripán (petrocálcico): encostramiento de caliza dura en láminas oblicuas y verticales debido a la cristalización lenta en romboedras de calcita, por sobresaturación de carbonatos en las soluciones y precipitación dentro de las grietas, macro-poros y tubos biológicos de un paleosuelo compacto o en la superficie de una toba poco intemperizada.

Sería útil establecer una descripción de los rasgos morfológicos macro y microscópicos de

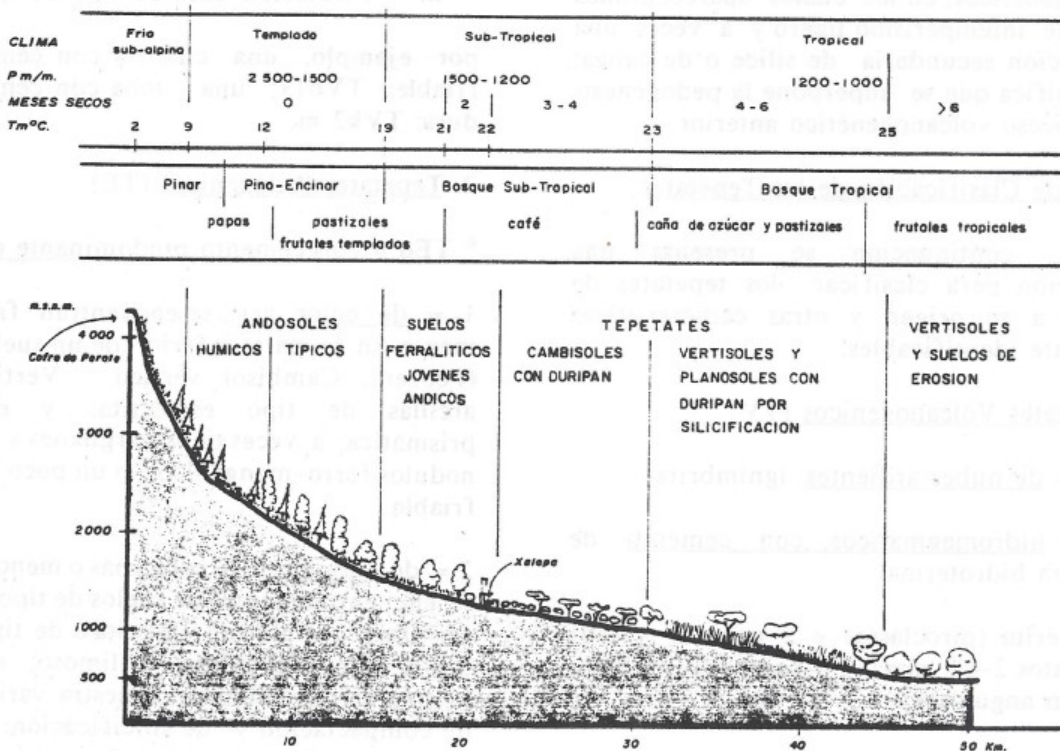


Figura 4. Clima-topo-secuencia de suelos: Cofre de Perote-Xalapa, Edo. de Veracruz.

los materiales volcanogénicos poco intemperizados en comparación con aquellos de tepetates pedogénicos. Hacen falta pruebas de campo y de laboratorio para identificar los cementos de sílice o de caliza y estimar el grado de endurecimiento. Nimlos (1987b) propuso un método de identificación de los cementos y también para mediciones de densidad y de dureza de los tepetates.

Algunos Criterios para el Mapeo y el Manejo de Tepetates.

Además de una clasificación de los tipos principales de tepetates, varias características útiles para su manejo pueden ser indicadas durante el mapeo. Estas son:

- La ubicación espacial, lateral y vertical, de cada tipo mayor de tepetate, y su variabilidad, a lo largo de una toposecuencia.
- Una ubicación temporal y estratigráfica, su relación con uno o varios depósitos piroclásticos, la identificación del material o del suelo parental.
- La zona climática correspondiente y el uso actual de la tierra.
- El espesor del tepetate y su variación lateral.
- El efecto de la erosión: el espesor del suelo residual sobreyacente y su variación lateral, su incidencia en el desarrollo del tepetate.
- El tipo de erosión consecuente.
- El grado de cementación por sílice o por caliza.
- Los criterios para el diagnóstico de campo.
- Los constituyentes, el grado de intemperismo, las consecuencias para la fertilidad.
- La microestructura, porosidad, densidad, compacidad y las propiedades mecánicas e hidráulicas.

- Los ensayos de recuperación de tepetates y sus resultados en cuanto a la rehabilitación agrícola y a la conservación de aguas y de suelos.

LITERATURA CITADA

- AEPLI, H. 1973. Barroböden und Tepetate. Untersuchungen zur Bodenbildung in vulkanischen Aschen unter wechselfeuchtem gemässigtem Klima im zentralen Hochland von Mexiko. Diss. Fachber. Umweltsicherung der Justus-Liebig-Univ. Giessen.
- BRINCKMANN, R. 1970. Ferrolisis, a hydromorphic soil forming process. *Geoderma* 3: 199-206.
- CHADWICK, D.A., D.M. HENDRICKS, W.D. NETTLETON. 1987. Silice in duric soils, 1- a depositional model, 2- mineralogy. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 51: 975-982 y 982-985.
- FISHER, R.V. y H.U. SCHMINCKE. 1984. *Pyroclastic rocks*. Springer-Verlag, Berlin - Heidelberg, Alemania. 472 p.
- MIEHLICH, G. 1978. Eigenschaften und Genese von Verhartungslagen in Zentralmexiko (Tepetate). *München Forschung. Geol. Paläont.* 44/45: 27-41.
- MIEHLICH, G. 1984. Chronosequenzen und anthropogene Veränderungen andesitischer Vulkanischeböden in drei Klimastufen eines randtropischen Gebirges (Sierra Nevada de México). *Habil. Schrift*, 402 pp., Fachber. Geowiss. Univ. Hamburg.
- NIMLOS, T.M. 1987a. Tepetate monograph. A report on the state of knowledge regarding tepetate and the associated erosion. *Rep. School For. Univ. Montana.* 30 p. (mimeografiado).
- NIMLOS, T.M. 1987b. La nomenclatura de horizontes endurecidos en suelos de cenizas volcánicas. In: J.F. RUIZ F. (Ed.) *Uso y manejo de los tepetates para el desarrollo rural*. Univ.

NIMLOS, T.M. y C. ORTIZ-S. 1987. Tepetate and soil erosion in the Valley of Mexico. *J. Soil Water Cons.* 42 (2): 83-86.

PACHECO, MA. DEL C. y J.W. ESTRADA-BERG. 1987. Cartografía y caracterización mineralógica de los tepetates de oriente del Valle de México. In: J.F. RUIZ F. (Ed.) *Uso y manejo de los tepetates para el desarrollo rural.* Univ. Aut. Chapingo, Dep. Suelos, Chapingo, México. pp. 31-37.

QUANTIN, P. 1986. Compte-rendu de mission à Xalapa de Veracruz (Mexique) du 28 avril au 15 mai 1986. Rapport Centre ORSTOM de Bondy, 11 p.

QUANTIN, P. 1987. Compte-rendu de mission à Xalapa de Veracruz (Mexique) du 17 au 30 mai 1987. Rapport Centre ORSTOM de Bondy, 5p.

ROSSIGNOL, J.P. y A. CAMPOS C. 1987. Los tepetates de la zona centro de Veracruz. In:

J.F. RUIZ F. (Ed.) *Uso y manejo de los tepetates para el desarrollo rural.* Univ. Aut. Chapingo, Dep. Suelos, Chapingo, México. pp. 38-49.

SPP/INEGI. México D.F. Mapas pedológicos a escala 1/1.000.000

WERNER, G. 1978. Los suelos de la Cuenca alta de Puebla-Tlaxcala y sus alrededores (comentarios a un mapa de suelos, con 4 mapas). Comunicaciones, VI. Fund. Alem. Invest. Científica, Puebla, México. 95p.

WERNER, G. 1986. Los suelos en el Estado de Tlaxcala, altiplano central Mexicano. Investigaciones relacionadas con su desarrollo, extensión, erosión y su utilización bajo la influencia de actividades agrícolas en 3000 años. Univ. Aut. Tlaxcala. Centro Estud. Municip. Estado de Tlaxcala, 132 p. y apéndices.

ANÁLISIS DE BORO EN SUELOS Y PLANTAS MEDIANTE EL METODO DE AZOMETINA-H

Boron Analysis in Soils and Plants by the Azomethine-H Method

Sergio A. Enriquez Reyes.

CIFAP-Guanajuato. Apartado Postal 112, 38000 Celaya, Gto.

Palabras clave: Boro, Análisis de suelo, Análisis de plantas, Azometina-H, Curcumina.

Index words: Boron, Soil analysis, Plant analysis, Azomethine-H, Curcumin.

el método de la curcumina. Tiene además la ventaja de ser más rápido y sencillo por lo que se puede adaptar fácilmente a un sistema de análisis de muestras en serie. Presenta, además, la ventaja de no requerir del uso de ácidos fuertes y es menos laborioso que los métodos que actualmente son utilizados.

RESUMEN

Los métodos actualmente utilizados para el análisis de extractos de suelo y planta son muy laboriosos y susceptibles a interferencias, por lo que es necesario implementar un método que no presente estas características y que además permita realizar el análisis de muestras en serie.

Para cumplir con estos objetivos, se evaluó el método espectrofotométrico de azometina-H en el análisis de boro en suelos y plantas. El análisis de boro en extractos de suelo obtenidos a partir de cloruro de calcio y en cenizas de plantas disueltas con ácido sulfúrico, en los cuales la cuantificación del boro se realiza mediante la formación de un complejo con azometina-H, presenta los mismos niveles de precisión y exactitud que con

SUMMARY

The azomethine-H spectrophotometric method was evaluated to determine the level of boron in soil and plant samples. Soils were extracted with calcium chloride 1N solution and ash plants were dissolved with sulfuric acid 1N. The precision and accuracy obtained with the azomethine-H method was similar to those obtained by the curcumin method. The azomethine-H method is rapid and reliable and could be adapted for routine analysis system.

INTRODUCCION

Los métodos comúnmente utilizados para el análisis de boro en extractos de suelo y plantas son los del carmín y de la curcumina. Debido a que ambos métodos son susceptibles a interferencias por iones encontrados normalmente en los suelos y en las plantas, se

Recibido 4-89.

requiere de pasos analíticos extras para retirarlas, lo que ocasiona que los métodos presenten condiciones que faciliten la presencia de errores indeterminados. Esto, aunado al hecho de la presencia de ácido sulfúrico concentrado, ha ocasionado que sea difícil implementarlos dentro de un proceso de análisis de rutina. Basson *et al* (1969) propusieron un método para el análisis de boro en plantas utilizando como reactivo básico la azometina-H, la cual presenta las características de ser más sensible a bajas concentraciones de boro y menos susceptibles a interferencias, que los métodos basados en el carmín y la curcumina. El método no pudo ser extensivamente utilizado debido a que el reactivo azometina-H no se encontraba comercialmente disponible. Posteriormente, Sippola y Ervio (1977), desarrollaron un método para el análisis de boro en muestras de suelos y plantas, en el cual los autores prepararon su propio reactivo de azometina-H. Actualmente, el reactivo ya se encuentra disponible comercialmente, por lo que es posible poder utilizar el método, sin embargo, antes es necesario evaluar los métodos propuestos o, en su defecto, desarrollar los métodos de análisis adecuados a muestras de particular interés.

El objetivo de este estudio es el obtener y evaluar un método de análisis de boro que sea aplicable a muestras de suelos y plantas.

MATERIALES Y METODOS

Para el desarrollo y la evaluación del método de análisis de boro en muestras de suelo y plantas, se realizó un estudio en el cual se consideraron las variables que se presentan en el Cuadro 1. Las características de cada muestra utilizada se presentan en el Cuadro 2 para suelo y en Cuadro 3 para planta y como se puede observar, aquellos son representativos dentro de su clasificación y éstas pueden ser consideradas como normales dentro de su contenido iónico. El estudio se inició a partir de la metodología propuesta por Sippola y Ervio (1977) para el análisis de suelo y plantas. Para evaluar la precisión y exactitud del método, se comparó contra los resultados obtenidos al analizar las muestras por el método de la curcumina

Cuadro 1. Variables consideradas y sus variaciones en la implementación del método de azometina-H en el análisis de boro en suelos y plantas.

	Variable en estudio	Variación
Método	Tiempo de formación del complejo y estabilidad del mismo	30, 60, 90 y 120 min
Suelo	Solución extractora	Agua caliente y cloruro de calcio 1M
	Concentración de iones	Suelo normal, salino y salino sódico
Planta	Especie vegetal	Brócoli, trigo, maíz, alfalfa, manzano, rosas
	Tamaño de muestra	200, 250 y 300 mg
	Solución de cenizas	Acido sulfúrico 0.5N y 1N ácido clorhídrico 0.5N y 1N
	Tiempo de solubilización de cenizas de plantas	60, 120 y 180 min

conduciendo la reacción hacia la formación del complejo rosocianina el cual es el más sensible de los complejos formados entre el boro y la curcumina (Fries y Getrost, 1977).

Preparación de Reactivos

1. Solución amortiguadora. Se disuelven 250 g de acetato de amonio más 15 g de EDTA-disódico en 400 ml de agua destilada. Se agregan suavemente 125 ml de ácido acético glacial.

2. Azometina-H. Se disuelve 0.9 g de azometina-H más 2 g de ácido ascórbico y se afora a 200 ml. Si la solución se encuentra turbia se calienta suavemente a baño maría. La solución guardada en el refrigerador puede durar hasta 15 días sin alterarse en su composición.

Cuadro 2. Características de los suelos utilizados en el estudio de la implementación del método de azometina-H en el análisis de boro en suelos y plantas.

	pH 1:2.5 en CaCl ₂	Materia orgánica %	Fósforo ppm	CE x 10 ³ ds m ⁻¹
Suelo normal	5.50	5.45	13.20	0.27
Suelo salino	6.80	6.10	112.50	4.11
Suelo salino-sódico	7.50	0.65	9.20	5.32

	Hierro ppm	Manganeso ppm	Zinc ppm	Cobre ppm
Suelo normal	396.00	135.60	18.30	0.27
Suelo salino	36.40	23.60	14.20	18.60
Suelo salino-sódico	3.90	6.30	0.60	0.40

3. Solución patrón de boro. Se prepara una solución de 100 ppm de boro disolviendo 0.5715 g de ácido bórico en agua y aforando a 1.0 litro. La curva de calibración se prepara en un intervalo de 0.0 a 5.0 ppm de boro con incrementos de 0.5 ppm.

4. Solución extractora para suelos. Disolver 110 g de cloruro de calcio anhidro y aforar a 1.0 litro.

5. Acido sulfúrico 1N c.a. Se toman 26.6 ml de ácido sulfúrico concentrado y se afora a 1.0 litro.

6. Acido clorhídrico 1N c.a. Se toman 31 ml de ácido clorhídrico y se afora a 1.0 litro.

Extracción de Boro en Suelos.

15 g de suelo tamizado y secado al aire se colocan en un matraz y se agregan 30 ml de la solución de cloruro de calcio. Se coloca sobre una placa caliente, se deja hervir durante 5 min y se filtra para obtener un extracto claro.

Extracción de Boro en Plantas.

La cantidad de muestra de planta secada a la estufa se incinera en crisoles de porcelana a una temperatura no mayor a los 450°C, debiéndose alcanzar ésta gradualmente. El proceso de incineración se continúa durante 12 horas. A las cenizas así obtenidas se les agrega 5.0 ml de la solución ácida y se deja reposar.

Cuadro 3. Concentración de nutrimentos en las plantas utilizadas en el estudio de la implementación del método de azometina-H en el análisis de boro en suelos y plantas.

Descripción	N	P	K	Ca	Mg	S	Na	Fe	Mn	Cu	Zn
	----- % -----						----- ppm -----				
Alfalfa	3.60	0.12	1.11	1.83	0.19	0.17	1070.00	200.00	90.50	10.20	19.00
Brócoli	5.20	0.47	3.40	0.79	0.26	0.99	970.00	202.00	34.00	34.00	83.00
Maíz	4.12	0.32	4.50	0.38	0.32	0.18	300.00	275.00	91.00	10.00	30.00
Manzano	1.76	0.16	1.11	1.83	0.26	0.18	630.00	98.00	48.00	6.00	12.00
Rosal	2.70	0.31	0.80	3.43	0.40	0.23	410.00	205.00	63.20	6.50	54.00
Trigo	2.76	0.24	3.46	0.72	0.19	0.18	800.00	335.00	70.50	9.50	42.00

Determinación de Boro en los Extractos.

Se toma una alícuota de 1.0 ml del extracto, 2.0 ml de la solución amortiguadora y 1.0 ml de azometina-H agitando entre la adición de cada reactivo, se deja reposar y se lee a 415 nm. Se sigue el mismo procedimiento para obtener la curva de calibración.

Cálculos.

Para obtener el contenido de boro por gramo de muestra se hacen los siguientes cálculos:

$$\text{ppm B} = \frac{\text{ppm solución} \times \text{factor de dilución}}{\text{peso de la muestra}}$$

Antes de efectuar el análisis de las muestras para la evaluación del método, se realizó un barrido del espectro en un espectrofotómetro Spectronic 20 para determinar la longitud de onda exacta en la cual realiza el análisis siendo ésta de 415 nm. La longitud de onda reportada para el método es de 420 nm.

Cuadro 4. Tiempo de formación y estabilidad del complejo boro: azometina-H.

Tiempo (min)	Unidades de absorbancia
30	0.38
60	0.55
90	0.56
120	0.50

RESULTADOS Y DISCUSION

Los resultados se presentan en función a las variables consideradas en el estudio.

Tiempo de Formación del Complejo y Estabilidad del Mismo.

Se observó que el desarrollo del color alcanzaba un valor de absorbancia máxima a los 60 min (Cuadro 4). La evaluación se realizó utilizando un estándar de 2.0 ppm. Como

puede observarse, un tiempo de 30 min no es suficiente para que se obtenga la máxima intensidad. Esta se alcanza hasta los 60 min aproximadamente y es estable hasta aproximadamente 90 minutos. A los 120 min la intensidad es ya más débil.

Solución Extractora en Suelos.

En el Cuadro 5 se presentan los resultados obtenidos en el análisis de boro utilizando como soluciones extractoras agua caliente y cloruro de calcio 1M. Como se observa, los valores de concentración de boro son mayores al utilizar como solución extractora agua caliente. Esto es debido a que el extracto obtenido no era cristalino además de presentar turbidez. Con la solución de cloruro de calcio esto no se presenta por lo que los resultados son más exactos. Este fenómeno se debe a la acción floculante del calcio sobre los componentes del suelo.

Concentración de Iones en Suelos.

Esta determinación se realizó con el objetivo de evaluar el efecto que el complejo de iones, presente en el suelo, puede tener sobre la formación del complejo boro-azometina-H.

Cuadro 5. Concentración de boro obtenida al utilizar como soluciones extractoras agua caliente y cloruro de calcio 1M.

Suelo	Agua caliente ¹⁾	Cloruro de calcio	Estándar
Normal (1)	1.18	0.96	0.939
Normal (2)	1.70	1.45	1.360
Salino (3)	2.25	2.05	1.994
Salino (4) sódico	2.48	2.15	2.261

¹⁾ Medias de cinco análisis.

Cuadro 6. Efecto del tipo del suelo sobre la concentración de boro determinada por los métodos de la curcumina y la azometina-H.

Suelo	Complejo formado con		t 0.01
	Curcumina	Azometina-H	
	----- ppm -----		
Normal (1)	0.959	0.926	NS
Normal (2)	1.360	1.489	NS
Salino (3)	1.994	2.085	NS
Salino (4) sódico	2.261	2.219	NS

La evaluación se realizó comparando los resultados obtenidos mediante el método de la curcumina y el de la azometina-H. Los resultados se presentan en el Cuadro 6. Como puede observarse, no hay diferencia entre los resultados obtenidos por ambos métodos. Esto implica que la concentración del EDTA en la solución amortiguadora es adecuada para evitar las interferencias que algunos iones puedan ocasionar. Al trabajar con suelos cuyo contenido y complejo iónico sea diferente al de los suelos considerados en este estudio, hacer una comparación de este tipo es conveniente para tener seguridad en la precisión y exactitud de los resultados.

Tamaño de Muestra de Planta.

Los resultados obtenidos en el análisis de boro en función al tamaño de muestra y contenido de boro en la misma se presentan en el Cuadro 7. En éste se observa que aunque las variaciones en peso son pequeñas (50 mg), sí tienen un efecto considerable sobre la variación obtenida en el resultado del análisis. Dicho efecto está condicionado por el contenido de boro en el tejido. De esta forma, muestras cuyo contenido de boro es bajo, presentan una mayor variación en los resultados al utilizar pesos menores. Para muestras cuyos contenidos de boro son mayores, tamaños también mayores de muestra proporcionan resultados con mayor variación. Utilizando un peso de 250 mg, se obtienen resultados con variación

Cuadro 7. Efecto del tamaño de muestra sobre el resultado del análisis de boro en ppm por el método de la azometina-H.

Peso de muestra	Cultivo													
	Trigo		Maíz		Brócoli		Coliflor		Alfalfa		Manzano		Rosal	
	\bar{x}	s	\bar{x}	s	\bar{x}	s	\bar{x}	s	\bar{x}	s	\bar{x}	s	\bar{x}	s
mg														
200	7.61	0.55	12.57	1.14	25.22	2.06	18.97	1.11	20.05	1.79	66.14	1.07	38.28	1.11
250	11.00	0.24	15.24	0.27	27.52	0.46	22.91	0.34	25.61	0.40	68.14	1.07	38.00	0.81
300	11.17	0.25	16.12	0.31	29.51	0.70	24.14	0.33	25.72	0.38	71.71	1.49	40.71	1.38

aceptable para un rango amplio de contenido de boro en las muestras. Este comportamiento del método está también relacionado con el rango lineal de la curva de calibración y con la sensibilidad del equipo utilizado. El usar un tamaño de muestra que considere estos factores permitirá una mayor precisión en el método de análisis, debido a que no se requerirán pasos posteriores de concentración o dilución del extracto.

Solubilización de Cenizas de Plantas.

Los resultados en función al tiempo de solubilización y ácido utilizado se presentan en el Cuadro 8. En general, los resultados obtenidos con ácido clorhídrico son menores a los obtenidos al utilizar ácido sulfúrico. Además los resultados obtenidos con este ácido son iguales a los obtenidos con el método de la curcumina. Por otro lado, al obtener las curvas de calibración para ambos ácidos pudo observarse una mayor sensibilidad con el ácido sulfúrico que con el ácido clorhídrico: 0.276 y 0.201 UA/1.0 ppm, respectivamente. En relación con el tiempo de reposo, en el Cuadro 8 puede observarse que con 60 min es suficiente para los dos ácidos utilizados que las concentraciones obtenidas con un mayor tiempo, son iguales estadísticamente.

Precisión y Exactitud.

Los resultados obtenidos al comparar el método de azometina-H con el método de la

curcumina se presentan en el Cuadro 9. Al hacer esta comparación, en el método de azometina-H ya fueron incorporados para suelos, la extracción de cloruro de calcio y para plantas un peso de 250 mg de muestra, el ácido sulfúrico en la solubilidad de cenizas y el tiempo de reposo de 60 minutos.

Como puede observarse en el Cuadro 9, los resultados obtenidos son estadísticamente iguales, obteniéndose además una mayor precisión con el método de azometina-H, lo cual puede deberse principalmente al hecho de que éste requiere de menos pasos en el análisis y a que la sensibilidad del reactivo es mayor que la presentada por la curcumina.

La obtención de igualdad de resultados al comparar ambos métodos, es reportada por Sippola y Ervio (1977) tanto para suelos como para plantas. Por otro lado, Wolf (1971) reporta la obtención de igualdad de resultados al comparar los métodos de curcumina, azometina-H y espectrográfico.

CONCLUSIONES

El uso de azometina-H para el análisis de boro presenta características que lo hacen más confiable que el método de la curcumina al ser utilizado en el análisis de muestras de suelos y plantas. Las ventajas que presenta el método se tienen en los aspectos de: mayor sensibilidad en el complejo formado, no

Cuadro 8. Efecto de la concentración, tipo de ácido utilizado y tiempo de reposo en la solubilización de cenizas de plantas sobre la determinación de boro (ppm) por el método de la azometina-H.

Acido	Concen- tración	Tiempo min	Cultivo				
			Trigo	Maíz	Brócoli	Manzano	Rosal
			----- ppm 8 -----				
H ₂ SO ₄	0.5N	60	9.90	10.80	20.15	58.00	30.18
		120	10.15	10.45	21.30	59.05	28.15
		180	9.95	13.50	19.85	59.75	31.60
		t (0.01)	NS	NS	NS	NS	NS
	1.0N	60	10.70	13.20	26.22	64.16	38.35
		120	11.15	16.15	26.15	65.48	36.55
180		10.65	15.80	25.10	66.39	38.28	
	t (0.01)	NS	NS	NS	NS	NS	
HCl	0.5N	60	8.20	10.50	19.15	56.00	30.75
		120	8.22	10.52	19.16	56.10	30.16
		180	8.28	10.42	19.30	57.20	30.48
		t (0.01)	NS	NS	NS	NS	NS
	1.0N	60	9.80	14.40	23.10	64.00	38.19
		120	9.81	14.75	23.20	68.00	37.25
180		9.92	14.04	24.40	66.00	36.15	
	t (0.01)	NS	NS	NS	NS	NS	

Estadísticos de siete análisis.

utilizar reactivos corrosivos y un número menor de pasos en el análisis, lo que trae como consecuencia una disminución en las fuentes de error. Presenta, además, una mayor precisión y exactitud y puede ser fácilmente adaptado a un sistema de trabajo de muestras en serie ya que presenta un comportamiento aceptable en muestras de suelo y planta de diferente composición iónica y de contenidos de boro.

El método propuesto para el análisis de boro en muestras de suelo consiste en utilizar como solución extractora cloruro de calcio.

Para plantas el método propuesto considera (1) utilizar en general un peso de muestra de 250 mg; (2) disolver las cenizas de las muestras en ácido sulfúrico 1N y dejar un tiempo de reposo de 60 minutos.

En cuanto al método, la concentración de reactivos propuestos por Sippola y Ervio (1977) es adecuada tanto para la formación del complejo como para la oclusión de iones que probablemente pueden interferir en la determinación. El tiempo de reposo para la formación del complejo propuesto por los mismos autores es el adecuado.

Cuadro 9. Comparación entre los métodos de curcumina y azometina-H para análisis de boro. La concentración de boro se presenta en ppm.

Tipo de muestra	Curcumina		Azometina-H		t	
	\bar{x}	s	\bar{x}	s		
					0.01	
Suelo	Normal (1)	0.939	0.033	0.926	0.015	NS
	Normal (2)	1.360	0.080	1.489	0.024	NS
	Salino (3)	1.994	0.085	2.085	0.025	NS
	Salino (4) sódico	2.261	0.053	2.219	0.032	NS
Cultivo	Trigo	11.12	0.278	10.85	0.164	NS
	Maíz	15.97	0.844	16.04	0.389	NS
	Manzano	4.80	2.250	65.00	1.247	NS
	Brócoli	28.10	1.723	27.30	0.823	NS
	Rosal	38.30	2.750	38.80	1.032	NS

Estadísticos de diez análisis.

LITERATURA CITADA

BASSON, W.D., R.G. BOHEMER y D.A. STANTON. 1969. An automated procedure for the determination of boron in plant tissue. Analyst 94: 1135-1141.

FRIES, G. y H. GETROST. 1977. Organic reagents for trace analysis. Ed. Merck Darmstadt.

SIPPOLA, V. y R. ERVIO. 1977. Determination of boron in soil and plants by the azomethine-H method. Finn. Lett. 138-140.

WOLF, B. 1971. The determination of boron in soil extracts, plant materials, composts, manures, water and nutrient solutions. Soil Sci. and Plant Anal. 2(5): 363-374.

**EVALUACION DEL ESTADO NUTRIMENTAL DEL CULTIVO DE DURAZNO
(*Prunus persica* L.) UTILIZANDO LA TECNICA DRIS**

Nutritional State Evaluation of Peach (*Prunus persica* L.) Cultivation by Using the DRIS Technique.

Rafael Zárate Zárate y Miguel Angel Vergara Sánchez.

Departamento de Suelos, Universidad Autónoma Chapingo,
56230 Chapingo, Edo. de México.

Palabras clave: Análisis foliar, Diagnóstico, Balance nutrimental, Indices nutrimentales, Orden de requerimiento.

Index words: Plant analysis, Diagnostic norms, Nutrient balance, Nutrient index, Ordering of plant requirements.

RESUMEN

Esta investigación se realizó entre 1986 y 1987 en la región de Coatepec Harinas, Estado de México. El trabajo consistió en la elaboración de un diagnóstico nutrimental para durazno, utilizando la técnica DRIS. Para ello se tomaron muestras al azar en 26 sitios (consistente en la colecta de 30 hojas por árbol, 8 árboles por sitio), las que fueron analizadas para determinar las concentraciones de N, P, K, Ca, Mg, Fe, Zn y Mn por métodos de rutina del Laboratorio de Química del Departamento de Suelos de la Universidad Autónoma Chapingo. Los resultados generados se procesaron mediante la técnica DRIS, obteniéndose 28 relaciones nutrimentales de referencia o normas preliminares: nueve

seleccionadas mediante una prueba de varianza, diez elegidas a través de una prueba de medias, cuatro por ambos métodos y se añadieron cinco consideradas agrónomicamente importantes. El orden de requerimiento nutrimental para cada sitio fue obtenido. Además, se obtuvo el índice de desbalance nutrimental (IDN) para estimar la proporción de sitios cuyo rendimiento no estuvo afectado por factores nutrimentales. La técnica DRIS permitió elaborar un diagnóstico nutrimental para cada sitio estudiado, teniendo la posibilidad de distinguir las necesidades nutrimentales particulares para cada uno, evitando así la generalización de recomendaciones de fertilización que puede conducir a obtener resultados no significativos en algunos sitios y el mal uso de insumos.

SUMMARY

This research was conducted between 1986 and 1987 in Coatepec Harinas, in the state of Mexico. The research aim was a nutritional diagnosis of peach trees using the DRIS technique. A random sampling was carried out in 26 orchards (30 leaves of each of eight trees, per orchard), in order to perform the analysis of N, P, K, Ca, Mg, Fe, Zn and Mn using the routine methods of the Chemistry

Laboratory of the Soils Department, of the Agricultural University Chapingo. The information obtained was processed using the DRIS technique. Twenty-eight nutrient ratios or preliminary standards were obtained: nine selected by the variance method, ten by the mean method, four by both methods and five were added because they were considered to be important. An ordering of nutritional requirements was obtained for each orchard. Also the Nutritional Imbalance Index (NII) was obtained in order to estimate the proportion of the orchards where output was not affected by nutrients. The DRIS technique allowed the elaboration of a nutrimental diagnosis for each orchard studied. It was possible to distinguish the particular nutritional requirements avoiding a general fertilizer recommendation and its misuse.

INTRODUCCION

La realización del análisis foliar para conocer la concentración de nutrimentos en la planta provee una indicación del estado nutrimental de un cultivo y puede ayudar en la elaboración de recomendaciones de fertilizantes. Una forma de interpretar tales análisis es comparando los datos obtenidos con valores de referencia (concentraciones críticas o intervalos de suficiencia), ya publicados para el cultivo en particular y el método de muestreo usado. Esta forma de realizar un diagnóstico sólo puede identificar una deficiencia a la vez, y no considera el balance nutrimental. Además esta técnica es afectada por diversas variables, tales como el tipo y la edad de la hoja muestreada.

Con el propósito de disminuir al máximo las limitaciones que tiene el empleo del análisis de plantas con fines de diagnóstico y recomendación ha sido desarrollada una técnica conocida con el nombre de Sistema Integrado de Diagnóstico y Recomendación (DRIS) (Beaufils, 1973).

Una de las bases del DRIS es tomar las relaciones de nutrimentos para el cálculo de los índices DRIS. La capacidad del DRIS para

realizar diagnósticos válidos en cualquier etapa fenológica del cultivo se basa en el uso adecuado de cocientes y productos de pares de nutrimentos de acuerdo al comportamiento de la concentración nutrimental con la edad de la hoja (Beaufils, 1973; Sumner, 1986).

Jones (1981) mencionó que la técnica DRIS se basa en varias suposiciones respecto a la forma en que el estado nutrimental del tejido afecta el rendimiento del cultivo. Estas suposiciones se resumen a continuación.

- Algunas relaciones de concentración de nutrimentos son más importantes que otras.

- Los rendimientos máximos de un cultivo son alcanzables únicamente cuando los valores de una relación importante se aproximan a un valor óptimo, el cual es cercano al valor medio de la relación en una población seleccionada altamente productiva (o cualquier otra deseada).

- Las relaciones importantes deben aproximarse a su valor óptimo para que se obtengan altos rendimientos. La varianza de una relación importante es pequeña en una población de alto rendimiento en comparación con una de bajo rendimiento. La relación de varianzas de ambas poblaciones puede ser utilizada para seleccionar relaciones importantes.

- Un índice DRIS puede ser calculado para cada nutrimento. Este índice está basado en la desviación media de cada relación importante para este valor óptimo. Así, el índice DRIS ideal para cualquier nutrimento es 0. Índices negativos indican deficiencia e índices positivos indican suficiencia.

Ventajas

Sumner (1977) mencionó las siguientes ventajas: (a) tanto para el suelo como para la planta el factor nutrimento puede ser ubicado en el orden de importancia limitante para el rendimiento por medio del uso de los índices DRIS, los cuales miden el grado relativo de balance entre los factores estudiados, (b) en el caso que se aplique el DRIS al análisis foliar, éste puede ser efectuado sobre un gran

intervalo de edad, variedad y posición de la hoja en la planta. Con esto se confiere gran flexibilidad al sistema, (c) el sistema DRIS tiene la facilidad de dar un intervalo relativo de los elementos en estudio en términos de sus requerimientos por la planta, y (d) se puede distinguir si los tratamientos aplicados a un cultivo fueron o no los apropiados.

Desventajas

Las desventajas son las siguientes:

(a) errores en el diagnóstico cuando se toman muestras en plantas (o partes de ellas) muy jóvenes o muy viejas; (b) alta cantidad de observaciones requeridas para desarrollar las normas estándar definitivas; (c) el número de muestras que debe analizarse que depende de la capacidad del laboratorio; (d) el problema que se genera en la elaboración y utilización del diagnóstico, por la alternancia (de año con año) de los rendimientos de los árboles frutales (p.e. café); (e) la falta de conocimiento que poseen los agricultores acerca del rendimiento exacto de su cultivo; (f) la dificultad para calcular los índices nutrimentales, especialmente cuando son muchos nutrimentos, para lo cual es necesario utilizar programas de cómputo.

Debido a que el aspecto nutrimental de las plantas es un factor de primordial importancia en la obtención de rendimientos elevados y a que la técnica DRIS ha presentado diversas ventajas en comparación con otras técnicas de diagnóstico cuando es aplicada a diferentes cultivos, se consideró importante contribuir al conocimiento de las necesidades del cultivo de durazno en la región del municipio de Coatepec Harinas, Edo. de Mex., donde está siendo impulsado el cultivo de este frutal con fines comerciales. En esta región es posible obtener producciones tempranas sin la afectación de bajas temperaturas, lo cual permite que el fruto alcance un buen precio en el mercado.

Esta investigación fue realizada empleando la técnica DRIS para diagnosticar la condición nutrimental de ocho nutrimentos en los huertos de durazno de la zona mencionada;

además de establecer las normas o valores estándar preliminares que deben ser considerados para el cultivo de durazno en la región.

MATERIALES Y METODOS

El presente trabajo se condujo en el municipio de Coatepec Harinas, Edo. de México, entre fines de 1986 y principios de 1987. La región se encuentra ubicada al sur de dicha entidad, comprendida entre los paralelos 18°54' y 18°56' de latitud norte y entre los meridianos 99°44' y 99°48' de longitud oeste. Se encuentra a una altitud de 2200 a 2400 msnm (CICTAMEX, 1985).

La región tiene un clima C (w"2) (w)(i)"g, con temperatura media anual de 17°C y precipitación anual de 1110 milímetros.

Los suelos son de tipo andosol húmico, feozem háplico y cambisol eútrico, de texturas que varían de franco arcilloso a arcilla, de colores rojo-café, pH ácido y un contenido de materia orgánica de medio a alto.

Después de un recorrido por la región se seleccionaron 25 sitios de muestreo, con base en el nivel de rendimiento obtenido en años anteriores y tratando de cubrir la superficie cultivada de durazno.

Una vez seleccionados los sitios, se realizó un muestreo al azar en ocho árboles dentro de cada sitio durante la época de fructificación, tomándose 30 hojas de cada uno de ellos en forma aleatoria pero procurando que las hojas no presentaran daños físicos (roturas, puntas quemadas, daños por insectos, por plagas y por granizo) y tuvieran un aspecto sano.

Con estas ocho submuestras se formó una muestra total que se procesó para análisis. El proceso previo a análisis consistió en lavar las hojas con agua potable para eliminar los residuos de polvo, fertilizantes foliares o pesticidas que pudieran existir. Luego fueron lavadas con agua destilada y posteriormente secadas hasta peso constante en una estufa de aire forzado a una temperatura de 60°C;

las muestras ya secas se molieron en un molino de acero inoxidable y se tomaron 0.3 g de cada una para realizar la digestión húmeda con ácido sulfúrico y agua oxigenada. Los digestados se aforaron a 100 ml y en éstos se determinaron los siguientes nutrimentos: N (microKjeldahl), P (colorimetría), K y Ca (flamometría), Mg (volumetría con EDTA), Fe, Zn y Mn (absorción atómica), en el Laboratorio de Química del Departamento de Suelos de la Universidad Autónoma Chapingo.

Los huertos muestreados (25) fueron clasificados en subpoblaciones de acuerdo a su nivel de rendimiento: alto (24 a 35 kg de fruto por árbol), medio (12 a 24 kg de fruto por árbol) y bajo (menos de 12 kg de fruto por árbol), aplicándose una prueba de J_i cuadrada para determinar si esa población se ajustaba a una distribución normal, la cual resultó positiva a un nivel de significancia del 1%.

Usando los datos de concentración nutrimental en el tejido vegetal se obtuvieron todas las relaciones posibles, cocientes y productos.

Para la selección de normas preliminares se consideraron dos criterios. (1) Si la varianza de una relación (cociente o producto de nutrimentos) era significativamente diferente entre las subpoblaciones de alto y bajo rendimiento, ésta se consideró importante, la comparación se realizó mediante una prueba de F de Snedecor. (2) Si la media de una relación era significativamente diferente entre las subpoblaciones de alto y bajo rendimiento, ésta se consideró importante. Las comparaciones se realizaron usando la prueba de T de Student (Jones, 1981; Davee *et al.*, 1986).

Cuando las relaciones seleccionadas como importantes estaban constituidas por dos nutrimentos con la tendencia de acumulación o disminución de acuerdo a la edad de la hoja se usó su cociente y cuando una relación seleccionada como importante estaba constituida por dos nutrimentos de tendencias opuestas respecto a la edad de las hojas se usó su producto. Además, cuando resultó significativo un cociente y su recíproco (p.e. N/P y

P/N) se tomó como relación importante aquella que tenía el menor coeficiente de variación.

Una vez seleccionadas las relaciones importantes o normas preliminares se procedió al cálculo de las funciones intermedias (F_i) de acuerdo a la modificación propuesta por Jones (1981), la cual consiste en la utilización de las ecuaciones siguientes:

$$F_i = \frac{S_i - M_i}{SD_i} \quad \text{Cuando } S_i > M_i$$

$$F_i = \frac{\frac{S_i - M_i}{S_i}}{\frac{SD_i}{M_i}} \quad \text{Cuando } S_i < M_i$$

donde: S_i es el valor de una muestra cualquiera, M_i es el valor óptimo de aquella relación importante, SD_i es la desviación estándar de la relación importante en la población deseable.

Una vez calculadas todas las funciones intermedias correspondientes, se procedió a calcular los índices, según la fórmula general siguiente:

$$IA = +f(A/B) - f(C/A) \dots + f(A/N) / Z$$

donde IA es cualquier índice, f las funciones intermedias correspondientes (F_i), y Z el número de funciones intermedias usadas en el cálculo de ese índice.

El signo de las funciones intermedias (f) es positivo cuando el nutrimento para el cual se está calculando el índice se encuentra en el numerador, y negativo cuando se encuentra en el denominador (Beaufils y Sumner, 1975). En el caso de que se usen productos para el cálculo de los índices, el signo de la función intermedia será positivo.

Después de calcular los índices para cada nutrimento, se procedió a ordenarlos de menor a mayor, obteniéndose así el orden de re-

querimiento nutrimental para cada huerto. La suma de los índices, sin considerar el signo, se usó para calcular el índice de desbalance nutrimental (IDN).

RESULTADOS Y DISCUSION

Los cocientes y productos seleccionados como normas DRIS preliminares son presentados en el Cuadro 1. De esas 28 normas,

Cuadro 1. Normas DRIS preliminares seleccionadas para durazno (Prunus persica L.).

Normas preli- minares	Media de la relación	Desviación estándar	Coeficiente de variación	Método de selección	
				Dif. de varianza	Dif. de medias
N/P	15.87	6.84	43.15	*	
N/K	1.33	0.40	30.19	*	
Zn/N	0.09	0.03	34.91	*	
Mg*N	20.00	11.00	54.22		*
P*Mn	0.07	0.06	82.41	*	*
Mn/Ca	0.42	0.32	74.53		*
Mg/Mn	36.69	37.14	101.23	*	
Fe/Mn	3.11	2.97	95.74	*	
N*Mn	0.93	0.67	72.78		*
P*Ca	0.16	0.03	18.40		*
P/K	0.09	0.01	13.87		*
P*Mg	1.20	0.42	33.50		*
P*Fe	0.11	0.02	15.45		*
P/Zn	0.77	0.10	12.45		
Ca*N	2.45	0.81	33.03	*	
Ca*K	1.84	0.16	9.09	*	
Ca/Mg	0.15	0.08	54.05	*	
Fe/Ca	0.70	0.11	15.43		
Ca/Zn	0.21	0.02	7.55		
K*Mg	14.00	4.70	33.41		*
K*Fe	1.30	0.21	16.43		*
K/Zn	8.86	0.94	10.58		
K*Mn	0.78	0.58	74.29	*	*
Mg/Fe	10.92	2.89	26.50		
	-4	-5			
Mg*Zn	1.5*10	6*10	39.30	*	
Fe*N	0.70	0.83	46.54	*	*
	-5	-6			
Fe*Zn	1.4*10	2.8*10	19.48		*
	-6	-5			
Zn*Mn	8.9*10	7.0*10	78.55	*	*

*Grado de significancia 5%.

nueve fueron seleccionadas con base en la diferencia significativa entre varianzas, diez con base en la diferencia significativa entre medias y cuatro por ambos métodos de selección. Además cinco relaciones fueron incluidas aun cuando no mostraron ninguna significancia, ya que se consideraron importantes debido a que, tanto en la planta como en el suelo, mostraron niveles bajos según las observaciones de campo y los análisis de laboratorio. Sumner (1977) menciona que si alguna relación se considera importante por criterio agronómico se le puede incluir en el cálculo de los índices DRIS.

Los índices DRIS, el IDN, el orden de requerimiento nutrimental y el rendimiento para cada uno de los sitios muestreados se presentan en el Cuadro 2.

Los índices DRIS para la planta indican la naturaleza y grado de desbalance nutrimental en ella, pero no dan una indicación automática de la naturaleza y cantidad de un nutriente en particular que deba ser aplicado al suelo o al follaje (Beaufils y Sumner, 1975). Estos índices reflejan excesos, carencias, balances relativos de un nutriente y no exactamente una deficiencia, estado normal o toxicidad.

Con base en el porcentaje de sitios, el nutriente que se presenta con un mayor número de índices negativos es el N (92%), cuyo valor de índice varía de -26.0 a 12.4, por lo tanto se podría pensar que adiciones moderadas de este nutriente mejorarán su balance nutrimental. En orden de importancia le sigue el Mn, el cual es deficiente en el 68% de los sitios y sus índices varían de -151.9 a 19.0. El K y el Fe ocupan el tercer lugar en orden de importancia en el porcentaje de sitios deficientes (64% ambos), sus índices varían de -12.3 a 49.8 y de -15.3 a 11.4, respectivamente. Aproximadamente, la mitad de los sitios (52%) presenta índices negativos de Zn. Los nutrientes que en los sitios muestreados presentan un menor porcentaje de índices negativos son el P (48%), el Ca (44%) y el Mg (32%). Las deficiencias que presentan las

plantas y que se manifiestan por medio de los índices negativos, pueden ser originadas por varias razones, una de las cuales sería que la planta no satisfaga completamente sus necesidades con las cantidades de nutrientes asimilables del suelo. La otra causa podría ser que los nutrientes en el suelo, aunque en cantidades relativamente grandes, no se encuentren en forma disponible debido a diversas causas: pH, adsorción de arcillas, lixiviación, pérdidas por riego, interacción entre nutrientes, sombreado de árboles y condiciones climáticas y de manejo, entre otras posibles.

El orden de requerimiento nutrimental, obtenido a partir del acomodo de los índices según sus valores, nos permite agrupar a los nutrientes de acuerdo a su orden de limitancia para el rendimiento, como se muestra en el Cuadro 2. En este cuadro el Mn aparece como el más limitante para 13 sitios, el Mg para tres sitios, el Zn, Ca, N y K para dos sitios cada uno y por último el Fe para un sitio.

Como se puede observar en dicho orden de requerimiento, no se sigue un comportamiento similar en todos los sitios. Esto se puede deber principalmente a dos factores. (1) Las distintas formas de manejo que se le dan al cultivo, puesto que mientras algunos fruticultores realizan rastro entre hileras de árboles para deshierbar, otros sólo cortan la hierba manualmente; unos agricultores fertilizan una vez al año, otros lo hacen dos o más veces; la frecuencia y cantidad de riegos varía de sitio a sitio. De manera tal que todos esos factores mencionados van contribuyendo en la disponibilidad de nutrientes en el suelo y en consecuencia que la planta tenga diferentes órdenes de requerimiento nutrimental. Por lo tanto, es necesario el conocimiento de los factores modificables de la producción para apoyar el diagnóstico nutrimental realizado por la técnica DRIS. (2) Las distintas condiciones fisiográficas bajo las cuales se encuentran ubicadas las plantaciones de durazno, ya que algunos son terrenos terracedos, otros son lomeríos con diferentes pendientes y exposición.

La medida del desbalance nutrimental total en los sitios estudiados puede ser indicada por la suma absoluta de los índices nutrimentales (Cuadro 2). En la Figura 1 se muestra la relación entre el IDN y el rendimiento de los árboles de durazno de los sitios estudiados, en la cual de manera general se puede observar que el rendimiento aumenta a medida que el

IDN decrece, el valor más bajo de IDN indica que las plantas se encuentran nutricionalmente más balanceadas. Inversamente, conforme el IDN aumenta y el rendimiento tiende a disminuir, se dice que los árboles están nutricionalmente más desbalanceados.

Cuadro 2. Diagnóstico del estado nutrimental, con el enfoque DRIS en huertos de durazno (*Prunus persica* L.)

Sitio	Indices DRIS								IDN	Orden de requerimiento	R
	N	P	Ca	K	Mg	Fe	Zn	Mn			
3	-1.0	0.8	-1.2	-1.8	-5.0	-1.2	-2.6	2.8	16.7	Mg>Zn>K>Fe=Ca>N>P>Mn	25
6	-23.4	0.5	9.0	-0.6	-34.2	-7.5	-1.8	15.4	100.8	Mg>N>Fe>Zn>K>P>Ca>Mn	25
10	12.4	-14.2	6.5	0.3	9.5	11.4	-3.0	-30.8	88.4	Mn>P>Zn>K>Ca>Mg>Fe>N	25
12	-1.9	-5.2	0.4	-8.1	9.6	-0.3	4.0	-20.9	50.7	Mn>K>P>N>Fe>Ca>Zn>Mg	30
16	-3.7	-7.5	-6.5	0.5	-6.1	-9.6	-12.3	-1.2	47.8	Zn>Fe>P>Ca>Mg>N>Mn>K	30
25	1.9	9.2	-5.2	1.6	4.5	0.3	6.2	19.3	48.5	Ca>Fe>K>N>Mg>Zn>P>Mn	34
4	-4.0	10.6	-0.9	-4.7	-0.2	-0.6	-1.2	1.9	24.4	K>N>Zn>Ca>Fe>Mg>Mn>P	9
9	-5.0	4.6	-2.4	-1.7	-6.5	1.8	-13.2	-8.3	44.0	Zn>Mn>Mg>N>Ca>K>Fe>P	3
17	-9.8	8.7	-1.6	-6.4	2.9	0.4	-3.6	-13.0	46.9	Mn>N>K>Zn>Ca>Fe>Mg>P	7
19	-12.2	-92.2	-11.4	-5.8	44.7	5.3	-2.9	-151.9	326.7	Mn>P>N>Ca>K>Zn>Fe>Mg	9
24	-14.6	7.7	17.0	-3.2	16.0	-9.2	-3.4	-33.8	105.2	Mn>N>Fe>Zn>K>P>Mg>Ca	7
26	-2.0	11.1	6.8	-9.6	22.8	-10.8	10.4	-8.9	82.6	Fe>K>Mn>N>Ca>Zn>P>Mg	7
2	-13.9	-1.7	39.6	21.2	19.5	-1.0	17.0	35.7	150.0	Mn>N>P>Fe>Zn>Mg>K>Ca	15
5	-19.2	4.9	-6.6	4.9	-14.0	2.0	3.4	12.7	68.1	N>Mg>Ca>Fe>Zn>K>P>Mn	22
7	-5.4	5.5	14.6	8.5	-8.0	-4.4	3.9	10.5	61.2	Mg>N>Fe>Zn>P>K>Mn>Ca	15
8	-6.2	-14.0	-8.1	-17.4	-5.7	7.4	-19.3	-50.7	129.4	Mn>Zn>K>P>Ca>N>Mg>Fe	13
11	-0.6	1.2	0.2	-3.1	14.0	3.6	17.4	7.0	57.5	K>N>Ca>P>Fe>Mn>Mg>Zn	18
13	-1.9	-3.9	-1.0	-8.3	7.3	-0.9	5.4	14.1	43.0	Mn>K>P>N>Ca>Fe>Zn>Mg	15
14	-11.2	-5.1	-24.2	-7.8	-12.2	-10.9	-9.8	13.3	95.0	Ca>Mg>N>Fe>Zn>K>P>Mn	22
15	-20.7	-12.6	26.0	-8.3	8.8	-1.1	-26.6	-88.0	178.4	Mn>Zn>N>P>K>Fe>Mg>Ca	20
18	-26.0	-7.0	21.5	-8.8	13.1	-4.9	-16.9	-88.6	187.3	Mn>N>Zn>K>P>Fe>Mg>Ca	15
20	-20.5	-6.5	76.0	49.8	11.5	-15.3	18.5	-31.0	229.5	Mn>N>Fe>P>Mg>Zn>K>Ca	22
21	-6.0	11.6	25.3	-12.3	22.8	-12.3	4.9	-37.5	133.1	Mn>Fe>K>N>Zn>P>Mg>Ca	20
23	-2.4	-5.3	5.4	2.4	5.6	-4.1	11.5	-0.7	37.7	P>Fe>N>Mn>K>Ca>Mg>Zn	20
27	-4.4	0.0	23.7	11.3	10.8	9.5	17.0	-20.1	97.1	Mn>N>P>Fe>Mg>K>Zn>Ca	20
%SD	92	48	44	64	32	64	52	68			

IDN = índice de desbalance nutrimental

R = rendimiento (kg/árbol)

%SD = porcentaje de sitios deficientes

Sin embargo, el rendimiento no puede ser explicado sólo en función del abasto de nutrientes, debido a que éste es el resultado de la interacción de diferentes factores, tales como: bióticos, genéticos, climáticos, edáficos y de manejo. Estos pueden afectar en diferente grado a la producción de frutos y los cuales no han sido incluidos en el diagnóstico elaborado, es decir, no se han calibrado los factores externos con los factores internos de la planta.

En la Figura 1 se pueden apreciar dos regiones (A y B). La región A que representa una zona donde los factores no nutrimentales limitan el rendimiento. En la región B el IDN máximo (línea normal al eje del IDN), calculado como la suma de la media más la desviación estándar de los IDN, ha sido excedido y los factores nutrimentales limitan el rendimiento (Davee *et al.*, 1986). Teniéndose las dos regiones mencionadas, se puede decir que es posible obtener menores rendimientos con bajos IDN debido a que factores del medio ambiente o de manejo pueden influir en el buen funcionamiento del árbol y, en consecuencia, afectar su rendimiento, de tal manera que en la región A no sólo se pueden obtener altos rendimientos. Aunque de manera general se ha reportado en la literatura (Davee

et al., 1986), que árboles con altos IDN tienen consistentemente bajos rendimientos.

Como una característica adicional al IDN, Davee *et al.* (1986) mencionan que este parámetro está significativamente más correlacionado con incrementos relativos en el rendimiento que cualquier otro parámetro mineral.

En consecuencia, el DRIS es capaz de detectar variaciones nutrimentales provocadas por el manejo que se le da al cultivo de durazno y permite elaborar un diagnóstico para cada sitio muestreado obteniéndose los diferentes requerimientos para los árboles ahí cultivados, no cayendo en la generalización de recomendación de fertilizantes para una región, lo cual pudiera originar una mala utilización del insumo fertilizante y, por ende, gastos extras para el productor.

CONCLUSIONES

Los nutrimentos requeridos en un mayor número de los sitios estudiados son: N, Mn, Fe, K y Zn; no siendo necesariamente éste su orden de requerimiento por sitio.

Al aplicar la técnica DRIS modificada por Jones (1981), se obtuvieron 28 normas de referencia preliminares, las cuales pueden ser empleadas en la elaboración de diagnósticos y recomendaciones futuras para la región considerada. Al aplicar la técnica DRIS fue posible obtener un orden de requerimiento nutrimental para cada sitio estudiado, independientemente de su ubicación y manejo.

Al calcular el IDN se logró una estimación global del balance nutrimental para cada sitio estudiado, lo que permitió distinguir los sitios limitados por factores nutrimentales de aquellos limitados por otros factores.

LITERATURA CITADA

BEAUFILS, E.R. 1973. Diagnosis and recommendation integrated system (DRIS). Soil Sci. Bull. No. 1. University of Natal, S. Afr. 133 p.

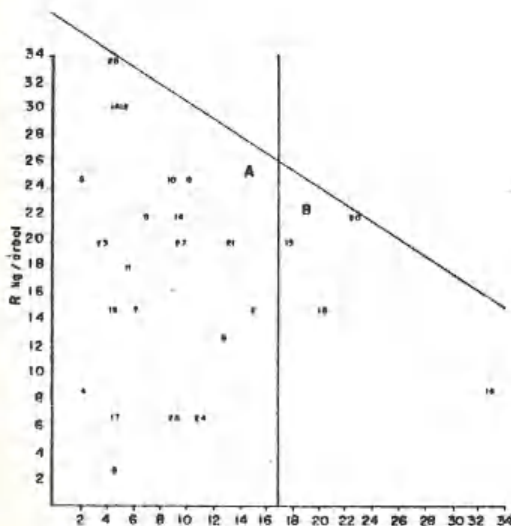


Figura 1. Relación entre el índice de desbalance nutrimental (IDN) y el rendimiento de árboles de durazno (R).

BEAUFILS, E.R. y M.E. SUMNER. 1975. Aplicación de the DRIS approach for calibrating soil, plant yield and plant quality factor of sugarcane. Proc. S. Afr. Sugar Tech. Assoc. June: 1-7.

CICTAMEX. 1985. Tres años de actividades del Centro de Investigaciones Científicas y Tecnológicas del Aguacate en el Estado de México. 280 p. ilus.

DAVEE, D.E., T.R. RIGHETTI, E. FALLAHI, y S. ROBBINS. 1986. An evaluation to the DRIS approach for identifying mineral limitations on yield in "Napolean" sweet cherry. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 111(6): 988-993.

JONES, C.A. 1981. Proposed modifications of the diagnosis and recommendation integrated system (DRIS) for interpreting plant analysis. Comm. in Soil Sci. and Plant Anal. 12(8): 785-794.

SUMNER, M.E. 1977. Use of the DRIS system in foliar diagnosis of crops at high yield levels. Comm. in Soil Sci. and Plant Anal. 8(3): 251-268.

SUMNER, M.E. 1986. Diagnostic and recommendation integrated system (DRIS) as a guide to orchard fertilization. Ext. Bull. No. 231. Department of Agronomy, U. Georgia, Athens. 21 p.

TAMAÑO Y NUMERO DE ESTOMAS EN TRES VARIEDADES DE SORGO CON Y SIN RIEGO

Size and Number of Stomata from Irrigated and Non-irrigated Sorghum Leaves

Gregorio Briones S. e Ysidro Delgado H.

Depto. Riego y Drenaje, UAAAN, 25315 Saltillo, Coah.

Palabras clave: Células guarda, Apertura estomática, Fotografía epidermis foliar, Microscopio estándar con iluminación integrada, Micrómetro de ocular, Conteo/campo, Parámetros de crecimiento.

Index words: Guard cells, Stoma aperture, foliar epidermis photography, Standard microscope, Ocular micrometer, Stomata count, Growth data.

RESUMEN

Durante el verano de 1986 se desarrollaron tres cultivares de sorgo con y sin riego en un lote del Campo Experimental "El Bajío" de la UAAAN. Los rendimientos cosechados fueron aceptables y en dos de los cultivares sembrados las diferencias observadas entre riego y temporal no resultaron significativas.

Los tres cultivares redujeron la longitud promedio del estoma por el efecto de la sequía. Los cultivares con crecimiento y producción sin respuesta al riego redujeron el número de estomas en el haz, pero lo incrementaron sobre la superficie foliar sombreada del envés;

por lo que se piensa que tal estrategia de evasión a la sequía permitió a las plantas reducir su transpiración sin afectar el proceso fotosintético.

El cultivar que respondió al riego redujo el número de estomas tanto en el haz como en el envés por efecto del déficit transpirativo, por lo cual se asume que perdió eficiencia en la asimilación de bióxido de carbono, puesto que proporcionó el menor rendimiento en temporal, calificando como susceptible.

SUMMARY

During the summer of 1986 three sorghum cultivars were grown with and without irrigation on a plot within the experimental field "El Bajío" of the Antonio Narro University at Saltillo, Mexico. The grain yields of two sorghum cultivars were acceptable in spite of deficient water. In two of the cultivars the differences observed between irrigated and under rain-fed conditions were not significant.

The average length of stomata was reduced by drought effect in the three sorghum cultivars, however, the number of stomata decreased on the sunlit upper epidermis (adaxial) but increased on the shaded lower

Recibido 8-88.

epidermis (abaxial) especially on the two cultivars that were drought resistant. Such a morphological change enabled the plants to avoid the effects of the drought; thus, a reduction of transpiration was enhanced, but with no significant reduction on photosynthetic activity.

When the drought reduced the number of stomata on both foliar epidermis, the gas exchange was reduced. Hence, transpiration and photosynthesis also were reduced; therefore, the lowest yields were harvested in the drought susceptible cultivar, and the cultivars responded positively to irrigation.

INTRODUCCION

Los estomas se localizan sobre la epidermis foliar y son las principales aberturas a través de las cuales ocurre el intercambio de gases entre hojas y ambiente. La cutícula es casi impermeable a gases y al vapor de agua. En plantas C_3 y C_4 los estomas normalmente cierran en la oscuridad y se abren en presencia de luz permitiendo la fotosíntesis y la transpiración.

El comportamiento del estoma ha sido observado en muchas especies, no solamente en condiciones naturales de campo, sino también en cámaras de ambiente controlado y en hojas desprendidas de la planta hidratadas a través del peciolo.

Generalmente, más estomas se encuentran sobre la epidermis inferior que sobre la superior, pero el número de estomas por unidad de área varía entre especies y condiciones ambientales bajo las cuales la planta se desarrolla (Weir *et al.*, 1970).

La apertura de los estomas es variable durante el día y depende de la intensidad de luz, bióxido de carbono y presión de turgencia de las células guarda, y su medida bajo el microscopio es indicadora de los cambios horarios que sufre el estoma, mismos que se han correlacionado significativamente con la resistencia de la hoja medida con porómetro de difusión en estudios sobre fisiología del estoma (Müller *et al.*, 1986).

La frecuencia estomática (número de estomas/unidad de superficie) y la longitud del estoma son características anatómicas y morfológicas de la epidermis foliar precondicionadas por los estímulos ambientales durante el desarrollo de la planta, y su medida bajo el microscopio ha permitido evaluar las variaciones genéticas entre especies y cultivares. En algunos estudios las mediciones microscópicas se han usado como criterio de selección para resistencia a sequía.

La apertura estomática, la longitud y el número de estomas pueden ser usados como indicadores de la actividad fotosintética o como parámetros de evaluación del proceso transpiratorio.

En este estudio se observó bajo el microscopio el número y longitud de los estomas sobre la epidermis superior e inferior en hojas de tres cultivares de sorgo. Tales datos se relacionaron con crecimiento y producción para inferir el comportamiento esperado en las plantas desarrolladas con y sin riego.

Se espera que los resultados derivados de este estudio, sobre anatomía estomática de la hoja de tres cultivares de sorgo, contribuyan a comprender las cuestiones fundamentales de la respuesta de las plantas bajo ambientes limitados de humedad y permitan aprovechar la variabilidad genética de los cultivares para mejorar la eficiencia en el uso del agua.

REVISION DE LITERATURA

Frecuencia Estomática entre Especies

Cohen *et al.* (1982) mencionaron que las características estomáticas han sido estudiadas por muchos investigadores quienes han reportado variaciones genéticas en tamaño y frecuencia de estomas para zacate bromo (Bromus inermis Leyss), triticale (X. triticose-calc), cebada (Hordeum vulgare L.), pastos de matorrales (Agrostis sp.), maíz (Zea mays L.), ballico perenne (Lolium perenne L.) y sorgo (Sorghum bicolor (L) Moench). Se ha demostrado que la frecuencia estomática difiere sobre las epidermis foliares, superior (adaxial)

e inferior (abaxial), y con la posición de la muestra sobre la superficie de la hoja, sin embargo, en muchas especies monocotiledóneas como avenas (*Avena sativa* L.), cebada, trigo (*Triticum aestivum* L.) y maíz, la frecuencia estomática puede resultar casi similar para ambas superficies de la hoja.

Laisk *et al.* (1980) encontraron, en las partes medias de las superficies adaxiales de las hojas, un número promedio de 5130 estomas cm^{-2} para frijol y de 4050 estomas cm^{-2} para cebada. La longitud promedio de los poros estomáticos (eje longitudinal) fue de 21.5 ± 4 micras para frijol y de 22 ± 2 micras para cebada. La principal característica observada fue que el estoma de la cebada nunca abrió más de 5 micras mientras que en el frijol la máxima anchura de poro fue de 15 micras.

Cole y Dobrenz (1970) reportaron que la frecuencia estomática varía de una especie a otra, y es influenciada por la luz solar, condiciones de humedad suelo/atmósfera, vientos, gases contaminantes y otros factores ambientales. Por ejemplo el maíz, frijol, calabaza y tomate tienen más estomas por unidad de área sobre la superficie foliar adaxial mientras que el arce tiene estomas solamente sobre la superficie abaxial.

Dentro de una misma especie, la frecuencia estomática y longitud del estoma han variado entre cultivares, por ejemplo en alfalfas (*Medicago sativa* L.) las microfotografías tomadas sobre ambas superficies de las hojas revelaron una frecuencia estomática significativamente más alta sobre la epidermis adaxial comparada con la epidermis abaxial. Las longitudes de los estomas para las alfalfas variaron de 18-23 micras.

Miskin y Rasmusson (1970) manifestaron que las investigaciones sobre frecuencias estomáticas y tamaño relacionadas con los procesos fisiológicos de las plantas, impactarían más significativamente en la productividad y uso del agua, si el grado de variación en frecuencia y tamaño de estomas fuera conocido entre especies y cultivares.

Dichos investigadores hicieron conteos de estomas sobre ambas superficies de las hojas bandera en 649 cultivares de cebada (*Hordeum vulgare* L.) de la Colección Mundial de Cebadas en Minnesota. Los conteos de estomas se hicieron en dos campos microscópicos aleatoriamente seleccionados sobre la parte más amplia de cada hoja entre la vena media y el margen; cada campo tenía un aumento 125X de 1.43 mm^2 y el tamaño del estoma se basó en la medición de la longitud de las células guarda en seis estomas. La frecuencia estomática en las cebadas varió desde 36 hasta 98 estomas mm^2 con un promedio de 64; la longitud de las células guarda varió de 41 a 56 micras. Una correlación negativa ($r = -0.86$) fue observada entre frecuencia estomática y tamaño.

La correlación negativa entre frecuencia y tamaño de los estomas puede ser el resultado de alguna relación compensatoria que mantiene el área total de poros de diferentes cultivares aproximadamente igual. Sin embargo, una hipótesis un poco más congruente es que el tamaño del estoma es proporcional al tamaño de la célula epidermal y que la frecuencia de los estomas varía inversamente con el tamaño de la célula.

Diferencias Estomáticas y Fotosíntesis Neta

El-Sharkawy y Hesketh (1964) demostraron como el número de estomas sobre la superficie adaxial de una hoja puede volverse limitante de la fotosíntesis neta. La fotosíntesis neta fue medida en una cámara de ambiente controlado y los estomas se midieron bajo 300 ppm de bióxido de carbono, 35°C de temperatura y $2.5 \text{ langleymin}^{-1}$ de intensidad de luz. Entre las especies estudiadas estaban el girasol, algodón, tabaco, sorgo y otros.

La fotosíntesis neta en $\text{mg CO}_2 \text{ dm}^{-2} \text{ hr}^{-1}$ fue relacionada con el producto $\text{bnx} \times 10^{-3}$ (número de estomas cm^2 por longitud de estoma) encontrando una tendencia potencial entre ambas variables que demostró como los estomas adaxiales se vuelven limitantes de la fotosíntesis neta conforme el producto bnx disminuye aproximándose a cero. Sin embargo, tal respuesta no se consideró compatible con la teoría cinética de los factores limitantes.

Krieg y Hutmacher (1986) encontraron en sorgo que la edad de la hoja y el déficit de agua afectan la actividad de los cloroplastos más bien que el suministro de bióxido de carbono permitido por la conductancia estomática. También mencionan que, después de emprender un programa diseñado para genéticamente incrementar la eficiencia en el uso del agua, se debe determinar la influencia relativa de la conductancia estomática sobre el proceso fotosintético como una interacción ambiente/planta; y analizar la contribución relativa de los factores estomáticos y no estomáticos sobre el control de la tasa fotosintética en sorgo de grano.

Efecto del Déficit de Agua sobre la Frecuencia Estomática

Cohen *et al.* (1982) encontraron en festucas (*Festuca arundinaceae* Schreb.) una frecuencia estomática mm^2 sobre la superficie adaxial 3.5 veces mayor que en la superficie abaxial. Los estomas localizados cerca de la base de las hojas no mostraron diferencias significativas en longitudes del estoma, pero si fueron significativas las diferencias en longitud para los estomas localizados al centro y ápice de las hojas. Estos autores concluyeron que sería relevante estudiar las relaciones entre las características estomáticas, anatómicas, morfológicas y fisiológicas de las hojas con la tolerancia al déficit de agua o adaptación de las festucas a climas áridos, y determinar si las características estomáticas pudieran usarse como un criterio de selección para resistencia a sequía.

Dobrenz *et al.* (1969) evaluaron la asociación entre frecuencia de estomas y eficiencia en el uso del agua para seis clones de mijo azul (*Panicum antidatale* Retz) representativos de tres diversas fuentes de germoplasma. Se aplicó la técnica del colodión para tomar las muestras de cutícula sobre las superficies foliares abaxial y adaxial en cuatro plantas de cada clon. Las hojas fueron seleccionadas en la punta, a mitad y sobre la base del tallo y las cutículas se tomaron en la base, mitad y ápice de cada hoja.

La frecuencia estomática de los clones de mijo varió desde 78 a 165 estomas por mm^2 , las hojas adyacentes a la inflorescencia tenían significativamente más baja frecuencia estomática que aquellas en la mitad y base del tallo. Ninguna diferencia fue encontrada entre las frecuencias estomáticas observadas en las tres posiciones sobre una misma hoja.

Una asociación no significativa ($r = -0.47$) fue obtenida cuando la eficiencia en el uso del agua y la frecuencia estomática se correlacionaron para los seis clones. Sin embargo, la tendencia de los datos indicó que los clones tolerantes a sequía tenían muy pocos estomas por unidad de área que los clones susceptibles a sequía. Cuando los datos de los seis clones se promediaron, la superficie abaxial de las hojas tenía una frecuencia estomática significativamente más alta que la superficie adaxial.

Agnew y Carrow (1985) indicaron que la compactación del suelo y el déficit de agua son dos problemas serios que limitan el crecimiento de los pastos recreativos y en condiciones severas ambos problemas predisponen a la planta a los daños por otros factores limitantes. En pasto Blue grass (*Poa pratensis* L. "Ram I") la compactación y el déficit de agua redujeron significativamente el número de estomas sobre la superficie adaxial en 28 y 18%, respectivamente, en comparación con las hojas del tratamiento testigo no compactado y bien regado. Sobre la superficie abaxial los cambios en frecuencia estomática no fueron significativos.

Davies (1977) investigó las relaciones hídricas en plantas de algodón y soya desarrolladas en ambientes controlados y en el campo, encontrando en ambas especies que la resistencia a la transpiración de la superficie foliar adaxial fue más alta que aquella de la superficie foliar abaxial. Esta diferencia reflejaba las diferencias en número de estomas, tamaño de estomas, espesor de hoja y cutina de la epidermis.

Se ha observado que bajo ciertas circunstancias los estomas adaxiales y abaxiales difieren en respuesta a la sequía o déficit de

agua (Hsiao, 1973). También se ha demostrado que las características del comportamiento estomático pueden ser modificadas por déficit de agua impuesto durante el crecimiento de las plantas (McCree, 1974), por ejemplo, se han reportado alteraciones de la respuesta estomática inducidas por el déficit de agua en algodón y sorgo (Thomas *et al.*, 1976).

Garrity *et al.* (1984) sugieren una mejor comprensión de los mecanismos fisiológicos y morfológicos de las especies relacionadas con las respuestas de las plantas bajo humedad limitada y derivar los fundamentos básicos para manejar el agua eficientemente y explotar la variabilidad genética.

MATERIALES Y METODOS

El lote experimental fue establecido el 21 de abril de 1986 dentro del campus de la UAAAN en un suelo arcilloso, y los cultivares seleccionados para el estudio fueron: Temporalero G-577, "El Blanco" G-766W y el Híbrido G-522 DR, proporcionados para fines de investigación por una distribuidora de semillas Funk's de la firma CIBA-GEIGY Mexicana.

La siembra se realizó en surcos espaciados a 0.80 m depositando manualmente la semilla aproximadamente a cada 10 cm a doble hilera sobre el lomo de los surcos, y después de la emergencia de plántulas se aclaró para uniformizar la población y mantener de 20-24 plantas m⁻². El tamaño de la parcela experimental fue de seis surcos de 6 m de largo, y a madurez fisiológica se cosecharon los dos surcos centrales eliminando efecto de orillas (2 m en cada extremo).

En cada cultivar se estudiaron plantas con y sin riego manejando cuatro repeticiones por tratamiento en un diseño de bloques al azar. En las parcelas de riego se aplicaron, por superficie, tres riegos de auxilio a los 0-21-45-60 días después de la siembra. En las parcelas sin riego sólo se aplicó agua para asegurar la emergencia de plántulas y luego de esta fase las plantas desarrollaron bajo temporal registrándose durante el ciclo del cultivo 235

mm de precipitación distribuidos principalmente entre 61-120 días del ciclo, beneficiando la fase reproductiva del sorgo; la evaporación total registrada en el tanque tipo A fue de 650 mm para el ciclo completo del cultivo.

Muestreo Foliar

Las hojas para estudiar la anatomía estomática de los cultivares de sorgo, precondicionados por el déficit de agua, se colectaron en espigamiento cortando las hojas más próximas a la hoja bandera. Las hojas se mantuvieron hidratadas por el peciolo durante el traslado al Laboratorio de Citología Vegetal donde se procedió al desprendimiento de franjas epidermales para su observación bajo el microscopio.

Preparación de Muestras

Ambas superficies de las hojas anfiestomáticas del sorgo fueron limpiadas y una delgada película de esmalte cristalino fue aplicada sobre la superficie foliar para fijar el arreglo estomático. Luego, auxiliándose con una pinza, se desprendió cuidadosamente la epidermis gravada en la película esmaltada. Las muestras se localizaron sobre la parte media de cada hoja entre la vena central y el margen evitando puntos necróticos incidentales.

Enseguida, se extendió una gota de gelatina glicerina sobre un portaobjeto encima de la cual se colocó la franja epidermal para después protegerla con el cubreobjeto como se indica en la Figura 1. El muestreo foliar de campo, trasladado y desprendimiento de epidermis en laboratorio se realizaban de 10:00 - 14:00 h del día.

Conteo de Estomas

Se ajustó el sistema de iluminación del microscopio aplicando técnica de Köhler, luego se montó el portaobjeto sobre la platina y se enfocó el campo sobre la preparación. El número de estomas por campo fue contado usando el objetivo 40X con una distancia de trabajo aproximada de 1 mm.

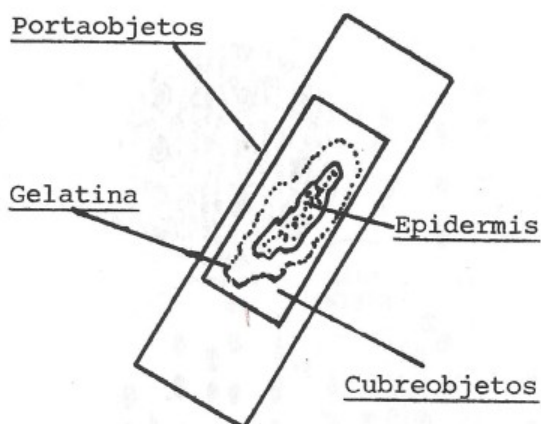


Figura 1. Preparación de muestras epidermales para observación microscópica.

El diámetro de campo se calculó dividiendo el diámetro del ocular (18 mm en microscopio K-7 Carl Zeiss) entre el número de aumentos del objetivo; obteniendo 450 micras de diámetro de campo para el objetivo 40X equivalente a una superficie circular de 0.159 mm².

Cinco repeticiones del conteo y tamaño de estomas fueron hechas desplazando el campo del microscopio sobre cada preparación. También se fotografió la disposición de los estomas sobre la epidermis foliar usando una cámara profesional con lente adaptado al ocular del microscopio estándar con iluminación integrada.

Longitud de Estomas

Se midió usando un micrómetro de ocular (lente graduada), y el número de divisiones ocupadas por la longitud estomática fue multiplicado por el valor micrométrico del objetivo empleado, calculando así el tamaño del estoma.

Crecimiento y Producción de las Plantas

Como parámetros del crecimiento y producción se midió el índice de área foliar (IAF), altura final de planta, materia seca total, peso de panícula y peso de 1000 granos; esto con el propósito de relacionar la respuesta de las plantas, con y sin irrigación, con la distribución

y longitud de los estomas sobre la superficie foliar.

RESULTADOS Y DISCUSION

El arreglo y tamaño de los estomas para los tres cultivares con y sin irrigación se puede apreciar en la Figura 2 donde aparece la distribución estomática fotografiada bajo el microscopio para la epidermis del haz y del envés, y a continuación se presentan los resultados del conteo y medición de estomas.

Número de Estomas

Generalmente un mayor número de estomas fue observado en la epidermis inferior (envés) que sobre la superior (haz) con excepción del cultivar 2, cuyas plantas con irrigación desarrollaron mayor número de estomas en el haz y menor sobre el envés, invirtiendo tal distribución al estar bajo temporal (Cuadro 1).

El sombreado de los estomas bajo el envés probablemente redujo la transpiración de la hoja, ayudando a conservar la turgencia. Tal comportamiento se puede considerar como un mecanismo de evasión a la sequía.

Longitud del Estoma

Las plantas bajo irrigación reportaron mayor tamaño de estomas que las plantas de

Cuadro 1. Número de estomas por campo en tres cultivares de sorgo con y sin irrigación (objetivo 40X).

Planta	Epidermis	Cultivar 1 G-577	Cultivar 2 G-766 W	Cultivar 3 G-522 DR
Con riego	Haz	24	29	25
	Envés	30	18	30
Sin riego	Haz	21	19	20
	Envés	26	33	43

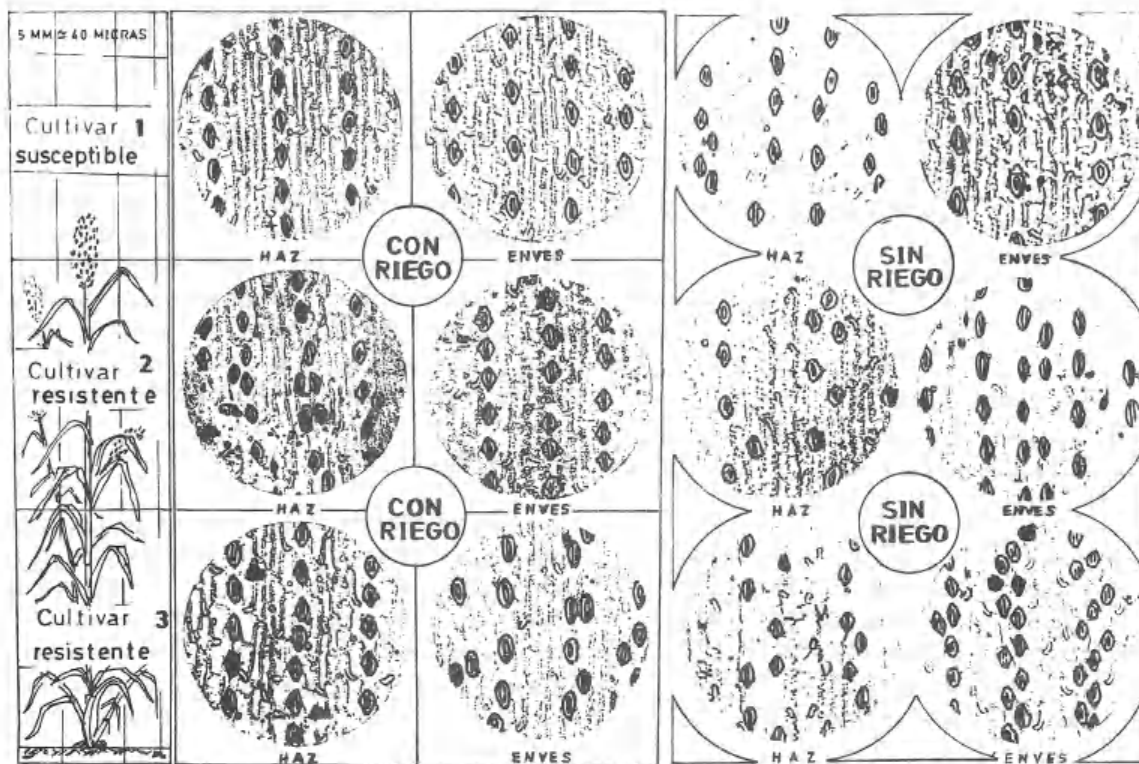


Figura 2. Arreglo y tamaño de estomas para tres cultivares de sorgo con y sin irrigación

temporal. Los cultivares 1 y 3 presentaron estomas de igual longitud sobre ambas superficies epidermales, sin embargo, el cultivar 2 desarrolló estomas más pequeños sobre el haz en comparación con los del envés (Cuadro 2).

Las plantas bajo riego recibieron durante su ciclo 535 mm de agua (tres riegos de auxilio más las lluvias), mientras que las plantas de temporal sólo recibieron el riego para emergencia y 235 mm de agua proporcionados por las lluvias que se registraron durante la segunda mitad del ciclo experimental del cultivo, lo cual indicó que las plantas bajo temporal sufrieron cierto grado de sequía durante la fase vegetativa.

Crecimiento y Producción de los Genotipos

La altura de planta, área foliar y materia seca fueron significativamente reducidos por la sequía en el cultivar o genotipo 1

(considerado por tal comportamiento susceptible), sin embargo, en los genotipos 2 y 3 dichas variables del crecimiento no variaron significativamente entre plantas de riego y temporal (Cuadro 3).

Por tal razón, los genotipos 2 y 3 se calificaron como resistentes a la sequía. La significancia de las reducciones (diferencia entre medidas) fue evaluada aplicando el estadístico *t* student al 90% de confianza y 6 grados de libertad.

Como se mencionó anteriormente, el crecimiento del cultivar 1 fue significativamente reducido por el déficit de agua, sin embargo, en los cultivares 2 y 3 las reducciones no alcanzaron significancia. Esto se debió probablemente a que las lluvias ocurridas durante espigamiento y llenado de grano estimularon la recuperación de las plantas bajo

Cuadro 2. Longitud de los estomas (micras) en tres cultivares de sorgo con y sin riego.

Planta	Epidermis	Cultivar 1 susceptible	Cultivar 2 resistente	Cultivar 3 resistente
Con riego	Haz	35	35	40
	Envés	35	40	40
Sin riego	Haz	30	30	35
	Envés	30	35	35

déficit, ya que se observó en los tres cultivares que el peso de las panojas cosechadas bajo temporal resultó estadísticamente igual a aquel cosechado bajo riego, pero se notó que el peso del grano en temporal tendía a ser menos denso en comparación con el grano producido bajo riego.

Bajo riego los cultivares 2 y 3 proporcionaron los mayores rendimientos de grano y bajo temporal sobresalió el cultivar 2 considerado por las distribuidoras como un sorgo de excelente adaptación y muy resistente a los elementos (CIBA-GEIGY 19), cuestión verificado por los datos encontrados.

Cuadro 3. Crecimiento y producción de tres genotipos de sorgo de grano y reducciones inducidas por la sequía en fase vegetativa.

Variable	Cultivar 1 G-577	Cultivar 2 G-766 W	Cultivar 3 G-522 DR
Altura final cm			
Riego	96	105	81
Temporal	81	97	76
Reducción	15**	08 NS	5 NS
Indice área foliar IAF			
Riego	88.4	80.2	95.1
Temporal	70.1	83.1	94.7
Reducción	18.3**	2.9 NS	0.4 NS
Materia seca, kg/PU			
Riego	19.9	18.4	24.0
Temporal	13.4	17.9	18.6
Reducción	6.5**	0.5 NS	5.4*
Peso de panojas, kg/PU			
Riego	17.3	20.9	19.5
Temporal	18.3	21.8	18.5
Reducción	1.0 NS	0.9 NS	1.0 NS
Peso 100 granos, g			
Riego	26.8	26.0	31.8
Temporal	24.0	25.8	32.6
Reducción	2.8**	0.2 NS	0.8 NS

** = Reducción altamente significativa por efecto de la sequía.

PU = Parcela útil.

NS = Efecto no significativo.

Cuadro 4. Variaciones en longitud de estomas y número de estomas sobre el haz y envés de hojas de sorgo inducidas por el déficit de agua.

Variable	Cultivar 1	Cultivar 2	Cultivar 3
Longitud de estomas (micras)			
Haz	- 5	- 5	- 5
Envés	- 5	- 5	- 5
Número de estomas			
Haz	- 3	- 10	- 5
Envés	- 4	+ 5	+ 5

(-) Reducción provocada por el déficit de agua.

(+) Incremento provocado por el déficit de agua.

CONCLUSIONES

Los cultivares 2 y 3, con reducciones de crecimiento y producción no significativas, mostraron una mayor redistribución de estomas sobre la epidermis sombreada del envés, y es muy probable que tal cambio morfológico haya permitido a las plantas de temporal compensar el déficit transpirativo ayudándolas a mantenerse fotosintéticamente activas como para igualar los rendimientos cosechados con irrigación. En el Cuadro 4 se presentan los cambios en longitud y número de estomas por el déficit de agua.

Los dos cultivares de sorgo que disminuyeron su número de estomas en el haz pero lo incrementaron sobre la superficie sombreada del envés posiblemente lo hicieron para transpirar menos sin limitar la fotosíntesis. Tal estrategia de evasión a la sequía pudo haber contribuido a conservar la turgencia de las hojas estimulando el potencial de rendimiento.

El cultivar considerado susceptible a la sequía además de reducir el tamaño del estoma al desarrollar bajo temporal, también redujo el número de estomas en el haz y en el envés. Tal cambio morfológico probablemente le permitió reducir la transpiración pero limitó la fotosíntesis.

Después de analizar e interpretar los resultados obtenidos en este estudio, y relacionarlos con el comportamiento anatómico y morfológico del estoma mencionado en la literatura, se llegó a las siguientes conclusiones:

1. Los tres genotipos de sorgo redujeron el tamaño del estoma tanto en el haz como en el envés por efecto del déficit de agua.
2. La sequía en la fase vegetativa del sorgo tendió a modificar la anatomía estomática de las hojas.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece la colaboración de la maestra Tere Pinela, encargada del Laboratorio de Citología Vegetal y al Ing. MC. Humberto Alvarado Sánchez, Maestro-Investigador del Depto. de Agronomía, ambos de la UAAAN.

LITERATURA CITADA

AGNEW, M.L. y R.N. CARROW. 1985. Soil compaction and moisture stress preconditioning in Kentucky Bluegrass. II. Stomatal resistance, leaf water potential, and canopy temperature. *Agronomy Journal* 77: 878-884.

- CIBA-GEIGY.** 19. Características de los sorgos G-577, G-766 W y G-522 DR. Desplegable. Funk's Hybrid. CIBA-GEIGY Mexicana, S.A. de C.V. Calzada de Tlalpan 3058, México 22 D.F. CP 04 910.
- COHEN, C.J., D.O. CHILCOTE y R.V. FRAKES.** 1982. Leaf anatomy and stomatal characteristics of four tall fescue selections differing in forage yield. *Agronomy Journal* 77: 704-708.
- COLE, D.F. y A.K. DOBRENZ.** 1970. Stomate density of alfalfa (*Medicago sativa* L.). *Crop Science* 10(1): 61-63.
- DAVIES, W.J.** 1977. Stomatal responses to water stress and light in plants grown in controlled environments and in the field. *Crop Science* 17: 735-740.
- DOBRENZ, A.K., L.N. WRIGHT y A.B. HUMPHREY.** 1969. Stomate density and its relationship to water-use efficiency of blue panicgrass (*Panicum antidotale* Retz). *Crop Science* 9: 354-356.
- EL-SHARKAWY, M.A. y J.D. HESKETH.** 1964. Effect of stomatal differences among species on leaf photosynthesis. *Crop Science* 4(5): 619-621.
- GARRITY, D.P., CH.Y. SULLIVAN y D.G. WATTS.** 1984. Change in grain sorghum stomatal and photosynthetic response to moisture stress across growth stages. *Crop Science* 24: 441-446.
- HSIAO, T.C.** 1973. Osmoregulation and water stress in higher plants. *Ann. Rev. Plant Physiology* 35: 289-291.
- KRIEG, D.R. y R.B. HUTMACHER.** 1986. Photosynthetic rate control in sorghum: Stomatal and non-stomatal factors. *Crop Science* 26: 112-117.
- LAISK, A., V. OJA y K. KULL.** 1980. Statistical distribution of stomatal apertures of *Vicia faba* and *Hordeum vulgare* and the Spannungsphase of stomatal opening. *Journal of Experimental Botany* 31 (120): 49-58.
- McCREE, K.J.** 1974. Changes in the stomatal response characteristics of grain sorghum produced by water stress during growth. *Crop Science* 14: 273-278.
- MISKIN, K.E. y D.C. RASMUSSEN.** 1970. Frequency and distribution of stomata in barley. *Crop Science* 10(5): 575-578.
- MÜLLER, U.; K. GRIMME, C. MEYER y W. EHLERS.** 1986. Leaf water potential and stomatal conductance of field-grown faba beans (*Vicia faba* L.) and oats (*Avena sativa* L.). *Plant and Soil* 93: 17-33.
- THOMAS, J.C., K.W. BROWN y W.R. JORDAN.** 1976. Stomatal response to leaf water potential as affected by preconditioning water stress in the field. *Agron. Jour.* 68(5): 706-708.
- WEIR, T.E., R.C. STROCKING y M.C. BARBUR.** 1970. Botany and introduction to plant biology. Willey. Fourth edition. Davis California USA.

ESTRATIFICACION AGROCLIMATICA DEL ESTADO DE GUANAJUATO

Agroclimatic Zonification of Guanajuato State

Rosario Terrones R. y Carlos Mejía A.

Agroclimatología y Matemáticas aplicadas.

SARH-INIFAP-CIFAPEG. Apartado Postal 112, 38000 Celaya, Gto.

Palabras clave: Climatología, Clasificaciones agroclimáticas, Índices agroclimáticos, Regionalización, Taxonomía numérica.

Index words: Climatology, Agroclimatic classification, Agroclimatic index, Zoning, Numerical taxonomy.

La quinta región corresponde a una estación meteorológica ubicada en la cima de un cerro, que presenta condiciones climáticas extremas. Se concluye que este método puede ser complementario al conocimiento agroclimático de regiones y manipulación de datos históricos de diversas zonas geográficas.

RESUMEN

En el estado de Guanajuato se presentan diferencias climatológicas, como en la mayor parte de la zona centro del país, que dependen en su mayoría de la distribución y cantidad de humedad, temperatura y energía disponible. En este estudio se aplicó una técnica de taxonomía numérica como herramienta complementaria a la delimitación de regiones, utilizando cinco variables y 69 estaciones con índices agroclimáticas presentes durante el período agrícola primavera-verano. Los resultados muestran una primera agrupación de las dos principales regiones, norte de Guanajuato y Bajío, las cuales difieren principalmente en altitud y fisiografía. Posteriormente se delimitaron cinco regiones distribuidas en el estado.

SUMMARY

As in most of the central zone in Mexico, in the state of Guanajuato there are climatological differences that depend in general on the distribution and quantity of humidity, temperature and energy. In this article a numerical taxonomic procedure was applied as a complementary tool for the delimitation of regions. Five variables and 69 meteorological stations with agroclimatic data were studied during the agricultural spring-summer period. The results suggest two main regions, north of Guanajuato and Bajío; each shows clear differences in altitude and physiographic conditions. Five regions were identified in the state; the fifth which housed a meteorological station, was in a mountain region with extreme climatological conditions. We conclude that the methodology is useful for the definition of agroclimatic conditions and data manipulation in various geographical zones.

INTRODUCCION

La clasificación climática que actualmente existe para el estado de Guanajuato es la definida por Köppen, modificada por García, la cual utiliza datos climatológicos en promedio anual y mensual para asignar los tipos de clima, de acuerdo a rangos establecidos para delimitar grupos (García, 1968).

Por otro lado, actualmente las clasificaciones agroclimáticas no se han llevado a cabo en nuestro país ya que las variables a utilizar y la metodología a emplear para lograr agrupar regiones similares, aún se encuentran a nivel experimental. Sin embargo, existen algunos métodos matemáticos y estadísticos que se han utilizado para agrupar estaciones meteorológicas en un área dada.

Debido a que los métodos de taxonomía numérica que existen son diferentes y su éxito depende del tipo de datos utilizados, así como de los contrastes ambientales entre regiones, se decidió probar un método multivariado, por medio del análisis de agrupación o Cluster analysis.

Dentro del análisis se escogió el método de agrupamiento denominado "Ward". Dicho método fue el que mejor definió desde las dos regiones térmicas más importantes en el estado, hasta cinco regiones contrastantes. Cabe mencionar que la quinta región delimita una sola estación, la cual está ubicada en un cerro y cuya amplitud térmica difiere en 2 grados de las demás. Esta estación fue utilizada como punto de comprobación en la definición de grupos.

El objetivo de identificar regiones similares en el estado de Guanajuato se refiere a colaborar con evaluaciones agroclimáticas que puedan unirse a evaluaciones biológicas o físicas que contribuyan a la planeación de actividades del sector agropecuario y forestal.

Cabe mencionar que este estudio es un intento de selección de variables agroclimáticas que inciden en los cultivos de los periodos de primavera-verano y otoño-invierno. Además

se espera seguir probando métodos que contribuyan a la identificación de ambientes similares. En este artículo sólo se incluyen los resultados obtenidos para el periodo mayo-octubre y la metodología utilizada para la identificación de grupos agroclimáticos en el estado de Guanajuato.

Los resultados muestran la confiabilidad de este método y consideramos que podría aplicarse en otras clasificaciones utilizando distintas variables agroclimáticas relacionadas con los aspectos agropecuarios y forestales bajo estudio.

MATERIALES Y METODOS

Los procedimientos de clasificación climática varían desde las descriptivas tradicionales (Köppen, Thornthwaite, etc.), hasta modernas técnicas numéricas basadas en computadora como la de Sokal, Cormack, etc. (Reddy, 1983). Los métodos descriptivos convencionales utilizan pocos atributos y las áreas se agrupan usando intervalos de clase arbitrarios que pueden ser representadas en relación a geocoordenadas como un continuo. Cuando se consideran muchos atributos, las técnicas numéricas confieren ciertas ventajas, ya que cada localidad es puesta en un contexto relativo a todas las otras.

Entre las técnicas numéricas de clasificación se destacan las conocidas como análisis de agrupamiento (Cluster analysis); como su nombre lo indica, estas técnicas tratan de formar grupos, tales que los individuos dentro de un grupo sean más similares en algún sentido que individuos de diferentes grupos.

Los pasos básicos a seguir en un procedimiento de clasificación serían los siguientes: (1) identificación de datos disponibles (continuos, discretos, etc.); (2) selección de atributos que definan una característica de interés particular como los básicos: promedios, coeficiente de variación, probabilidad y los derivados: índices, razones, etc.; (3) calcular matrices de similaridad que integren los caracteres o atributos en una sola entidad

(diferentes tipos de medidas); (4) agrupar o clasificar las localidades usando los atributos de la matriz de similitud (métodos de agrupamiento); (5) interpretar los resultados.

En cualquier técnica de clasificación, descriptiva o numérica, la selección de atributos a usar es crítica.

Las medidas de distancias más comunes en la clasificación numérica son las siguientes (Reddy, 1983; SPSS, 1985):

a) Métrica no estandarizada

Euclidiana
$$\left(\sum_{k=1}^p x_k^2 / p \right)^{1/2} = E$$

MCD o Manhattan
$$\sum_{k=1}^p |x_k| / p = M$$

Euclidiana al cuadrado
$$E^2$$

b) Métrica estandarizada

De Camberra
$$\sum_{k=1}^p (|x_k| / (x_{ik} + x_{jk})) / p$$

De Bray-Curtis
$$\sum_{k=1}^p |x_k| / \left(\sum_{k=1}^p (x_{ik} + x_{jk}) \right)$$

De Gower
$$\sum_{k=1}^p \left(1 - \frac{|x_k|}{r_k} \right) / p$$

Euclidiana estandarizada
$$E / s.d._k$$

Euclidiana al cuadrado estandarizada
$$(E / s.d._k)^2$$

MCD estandarizada con desviación estándar
$$M / s.d._k$$

MCD estandarizada con rango
$$M / r_k$$

Nota:

$r_k =$ rango de atributo: $X = x_{ik} - x_{jk}$

$s.d._k =$ desviación estándar del atributo

Entre los métodos de agrupamiento los ocho de uso más común son: (1) el vecino más cercano o encadenamiento simple; (2) el vecino más lejano o encadenamiento completo; (3) el centroide (a)¹⁾; (4) de la mediana (a)¹⁾; (5) encadenamiento promedio entre grupos; (6) encadenamiento promedio dentro de grupos; (7) de Ward o de mínima varianza (a)¹⁾; (8) de ordenamiento flexible (Reddy, 1983).

Las diferentes posibilidades que se presentan en cada paso de la clasificación, como son la selección de variables, medidas de similitud y métodos de agrupamiento, han hecho muy amplio el rango de opciones de clasificación y dado que actualmente no existen pruebas estadísticas totalmente confiables para poder decidir si un agrupamiento es mejor que otro, esto generalmente se deja a la experiencia del investigador.

Dado que en la literatura, que se encuentra sobre clasificación en agroclimatología, se reportan como las técnicas más prometedoras, la de encadenamiento promedio entre grupos con la medida euclidiana y la de Ward con la medida euclidiana al cuadrado; se decidió probar estas técnicas en este estudio, utilizando todos los datos estandarizados.

El paquete para microcomputadoras que se utilizó para realizar los análisis fue el SPSS (Statistical Package for Social Sciences) usando el procedimiento de agrupamiento.

El procedimiento de agrupamiento maneja seis tipos de medidas y siete métodos de agrupación produciendo como salida grupos jerárquicos basados en una o más variables y representados en dendogramas, carambanos (ICICLES) o tablas donde se identifican los grupos (SPSS/PC/manual, 1985).

De acuerdo al conocimiento del estado de Guanajuato y la información con que se contaba de cada estación meteorológica, se observó que las agrupaciones hechas con el método Ward eran suficientemente buenas para

¹⁾(a) Con estos métodos se deberá usar distancia euclidiana al cuadrado.

los objetivos del trabajo, mientras que las obtenidas con el método de encadenamiento promedio entre grupos no resultaban satisfactorias, por lo que no se incluyeron en los resultados presentados en este trabajo.

La mayor ventaja de las técnicas numéricas sobre las descriptivas es la facilidad con que los atributos pueden ser integrados y formar grupos de localidades con menos sesgos personales.

La mayor debilidad de los métodos numéricos es que dan diferentes resultados y no hay procedimientos definitivos para seleccionar el método óptimo o probar si el agrupamiento es válido; por lo que la selección se debe hacer con base en un agrupamiento realista y útil.

Los índices agroclimáticos utilizados se estimaron por diversos métodos, descritos en las publicaciones especiales elaboradas por Terrones (1989a; 1989b). Sin embargo, es importante mencionar que la estación de crecimiento se estimó utilizando el método FAO, limitando su duración por el riesgo de recibir una helada a 2°C, con una probabilidad del 90%. Además, las unidades fototérmicas se estimaron multiplicando las unidades térmicas (temperatura media - 10°C) por la duración media del día, según la latitud de cada estación meteorológica.

RESULTADOS Y DISCUSION

Para iniciar la agrupación de estaciones se requirió seleccionar variables que determinasen la similitud o disimilitud entre grupos. Los índices agroclimáticos se obtuvieron de los trabajos realizados por Villalpando y Terrones (1988) y por Terrones (1989a; 1989b).

Originalmente se manejaron 15 variables agroclimáticas para los meses de mayo-octubre (base de datos capturada en el formato del paquete computacional Lotus, Software Publishing Group, 1985), pero al considerar los cultivos del ciclo primavera-verano, se decidió reducir el número de variables a siete.

La primera consideración de variables se realizó con base en los resultados obtenidos de la correlación entre ellas. Es decir, al encontrar variables altamente correlacionadas se daba por un hecho que la variación entre regiones podría darla de igual forma una sola de las variables en vez de todas (Cuadro 1).

Aún así se realizó otra selección tomando en cuenta los cultivos de riego y temporal quedando los siguientes: amplitud térmica (AMPT), precipitación probable al 70% (PPROB), estación de crecimiento probable al 70% (PCPRO), altitud (ALT) y unidades fototérmicas utilizando base de 10°C (UF10).

Otro factor importante para la selección de las cinco variables anteriores fue que las 69 estaciones meteorológicas contaban con dicha información.

En el Cuadro 1 se observa que el coeficiente de variación (CV) de los elementos derivados de la temperatura y seleccionados para la estratificación, van desde un 7% a un valor del 20%. Por otra parte, los elementos derivados de la humedad van de un CV del 23 al 64%, lo cual implica que en el estado de Guanajuato existe mayor variabilidad entre regiones debido a humedad que a temperatura.

Los resultados obtenidos, mediante el método denominado "Ward", delimitan dos regiones; una al norte y otra al sur del estado. Dichas regiones se encuentran separadas aproximadamente por la línea topográfica de los 1,900 msnm. La Figura 1 es una representación sintetizada del mapa original sobre el cual se trabajó, carta fisiográfica escala 1:500,000 (SPP, 1980).

Con base en las primeras áreas definidas se decidió considerar cinco regiones para el estado de Guanajuato, las cuales se pueden visualizar en la Figura 2.

En el Cuadro 2 se muestran los valores de las cinco variables seleccionadas para las 69 estaciones meteorológicas de acuerdo al número de agrupación o "Cluster" al que pertenecen.

Cuadro 1. Estadística de elementos agroclimáticos para los meses de mayo-octubre en Guanajuato.

Elementos climatológicos	Máximo	Valores Mínimo	Media	Desv. est.	CV ¹⁾
					%
Amplitud térmica ²⁾ (°C)	7.5	2.0	4.0	0.8	20.0
Temperatura diurna (°C)	26.4	18.0	23.5	1.8	7.6
Temperatura nocturna (°C)	19.4	11.8	16.1	1.5	9.3
Unidades térmicas (Base 10°C)	2364.0	946.0	1801.9	303.6	16.8
Unidades fototérmicas ²⁾ (Base 10°C)	3026.0	1218.0	2308.3	386.6	16.7
Precipitación probable 70% ²⁾ (mm)	641.0	193.0	475.0	110.3	23.2
Estación de crecimiento ²⁾ (días, prob. 70%)	128.0	0.0	70.1	44.9	64.0

1) Coeficiente de variación (CV) = Desv. estándar/media

2) Elementos climatológicos seleccionados para la estratificación (además de la altitud).

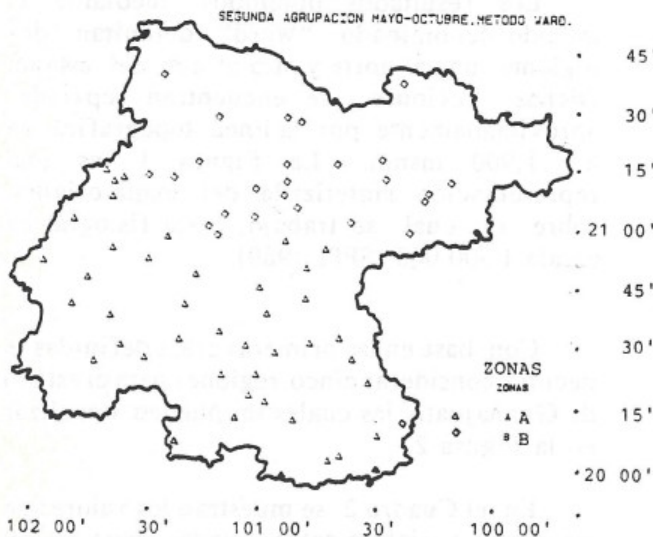


Figura 1. Segunda agrupación mayo-octubre. Método Ward.

Además, al final de cada grupo se muestran las estadísticas descriptivas. Los promedios de las variables utilizadas pueden ayudar a identificar las diferencias entre cada región delimitada.

La superficie obtenida para cada grupo se puede observar en la Figura 2, donde se identifica el primer grupo en la región del Bajío, al sur del estado. Posteriormente dicho grupo se fracciona para dar origen al segundo grupo, que se ubica cerca de alguna barrera topográfica. El tercer grupo se definió al norte del estado, dentro del cual se subdivide al cuarto y quinto grupo, en la región noroeste cercana a sistemas topofórmicos como sierras y lomeríos profundos, el quinto grupo delimita la estación 45 ubicada en un cerro y que fue utilizada como referencia.

Cuadro 2. Agrupación de estaciones meteorológicas y variables utilizadas.

Agrupación	Estación	Amplitud térmica	Unidades fototérmicas (base 10°C)	Altura	Precipitación probable (Prob. 70%)	Período de crecimiento (Prob. 70%)
		°C		msnm	mm	días
Primera	01	4.6	2839	1760	589	91
	03	4.1	2544	1700	400	33
	04	3.6	2739	1775	510	68
	05	4.3	2489	1767	456	53
	06	3.8	2607	1767	534	82
	09	4.3	2696	1764	469	62
	10	3.9	2455	1850	603	119
	11	4.8	2193	1850	482	87
	13	3.9	2593	1750	500	88
	14	4.3	2504	1765	555	107
	19	4.4	2447	1880	529	125
	20	3.8	2576	1842	444	71
	21	4.2	2650	1775	572	82
	22	4.1	1977	1800	549	89
	23	4.4	2390	1778	488	94
	25	4.3	2314	1950	609	109
	28	3.2	2948	1725	556	103
	29	5.8	2208	1840	547	102
	33	4.5	2222	1850	481	100
	35	3.5	2541	1753	516	82
	36	5.7	2641	1500	609	120
	38	3.4	2830	1824	500	80
	40	4.5	2945	1895	398	116
48	4.4	2550	1825	491	88	
52	3.6	2327	1772	522	97	
54	3.2	2780	1714	516	77	
58	4.1	2536	1777	516	88	
59	4.1	2634	1721	587	97	
71	3.9	2447	1761	522	102	
72	4.0	2462	1783	597	121	
74	3.9	2596	1777	493	80	
77	5.5	2732	1930	626	0	
79	5.0	2714	1721	558	74	
91	3.5	2864	1760	378	115	
93	3.7	3026	1900	383	0	
		-	-	-	-	-
Valor máximo		5.8	3026	1950	626	125
Valor mínimo		3.2	1977	1500	378	0
Media		4.0	2500	1789	489	83
Desv. est.		0.6	229	79	64	29
Coef. Var. (%)		15	9	4	13	35

Cuadro 2. Continuación.

Agrupación	Estación	Amplitud	Unidades	Altura	Precipitación	Período de
		térmica	fototérmicas		probable	crecimiento
		°C	(base 10°C)	m s n m	mm	días
Segunda	02	3.7	2315	1846	623	125
	27	3.5	2330	1870	609	116
	31	2.7	2035	1934	638	128
	32	3.2	2262	1750	559	100
	44	2.2	2455	2066	584	87
	60	3.2	2407	1782	590	125
	70	3.2	2548	1730	522	115
	76	3.3	2312	1900	641	125
		-	-	-	-	-
Valor máximo		3.7	2548	2066	641	128
Valor mínimo		2.2	2035	1730	522	87
Media		3.1	2333	1860	596	115
Desv. est.		0.4	142	103	38	14
Coef. Var. (%)		14	6	6	6	12
Tercera	07	2.6	2072	1900	398	0
	15	4.4	2136	2125	362	48
	17	3.8	2291	1895	378	0
	26	4.7	1548	2110	288	0
	42	3.9	2057	2000	292	0
	43	4.5	1905	2013	284	0
	50	4.8	2007	2250	193	0
	51	3.9	2166	1850	381	0
	53	4.2	1893	2018	340	39
	57	3.6	2319	1906	377	0
	62	3.5	2181	1745	473	0
	64	3.1	2264	2080	243	0
	65	4.1	1920	2090	319	8
	66	3.9	2153	1870	398	53
	67	4.3	1857	2120	326	0
	68	3.7	1463	2020	213	0
	75	4.3	2206	1935	284	0
82	4.8	1819	1800	385	0	
	-	-	-	-	-	-
Valor máximo		4.8	2319	2250	473	53
Valor mínimo		2.6	1463	1745	193	0
Media		4.0	2014	1985	330	8
Desv. est.		0.6	233	128	70	17
Coef. Var. (%)		14	12	6	21	212

Cuadro 2. Continuación.

Agrupación	Estación	Amplitud	Unidades	Altura	Precipitación	Período de
		térmica	fototérmicas		probable	crecimiento
		°C	(base 10°C)		(Prob. 70%)	(Prob. 70%)
				msnm	mm	días
Cuarta	08	4.0	1803	2125	486	97
	12	2.1	1400	2271	559	112
	24	3.5	2346	2037	514	91
	49	3.9	1760	2200	473	77
	61	4.3	1570	2280	473	74
	73	4.0	1218	2571	566	99
	80	4.2	2126	2125	398	98
		-	-	-	-	-
Valor máximo		4.3	2346	2571	566	112
Valor mínimo		2.1	1218	2037	398	74
Media		3.7	1746	2230	496	93
Desv. est.		0.7	366	161	53	12
Coef. Var. (%)		19.2	21	7	11	13
Quinta	45	7.5	2112	2090	522	121

La delimitación de regiones se logró considerando la fisiografía del estado de Guanajuato y el área de influencia de cada estación meteorológica, la cual variaba de 2 a 100 km de representatividad (Figura 2). Los valores de la superficie bajo cada grupo se muestran en el Cuadro 3.

Como se puede observar en el Cuadro 3, la mayor superficie se encuentra al sur del estado con características similares tanto de humedad como de temperatura y capacidad fototérmica. En contraste se puede comparar el grupo 1 que tiene 86 días en promedio de estación de crecimiento contra el grupo 3 que sólo tiene 13 días y se ubica al norte del estado.

En la Figura 3 se muestra el dendograma que se obtuvo para identificar los grupos. Ahí las líneas continuas representan a los cinco

Cuadro 3. Superficie (km²) de cada estrato agroclimático y su porcentaje ocupado, respecto al territorio total del estado de Guanajuato.

Núm. de grupo	Superficie (km ²)	Porcentaje del total
1-A	16,252	53.3
2-B	971	3.2
3-C	10,923	35.9
4-D	2,286	7.5
5-E	29	0.1
Total	30,461	100.0

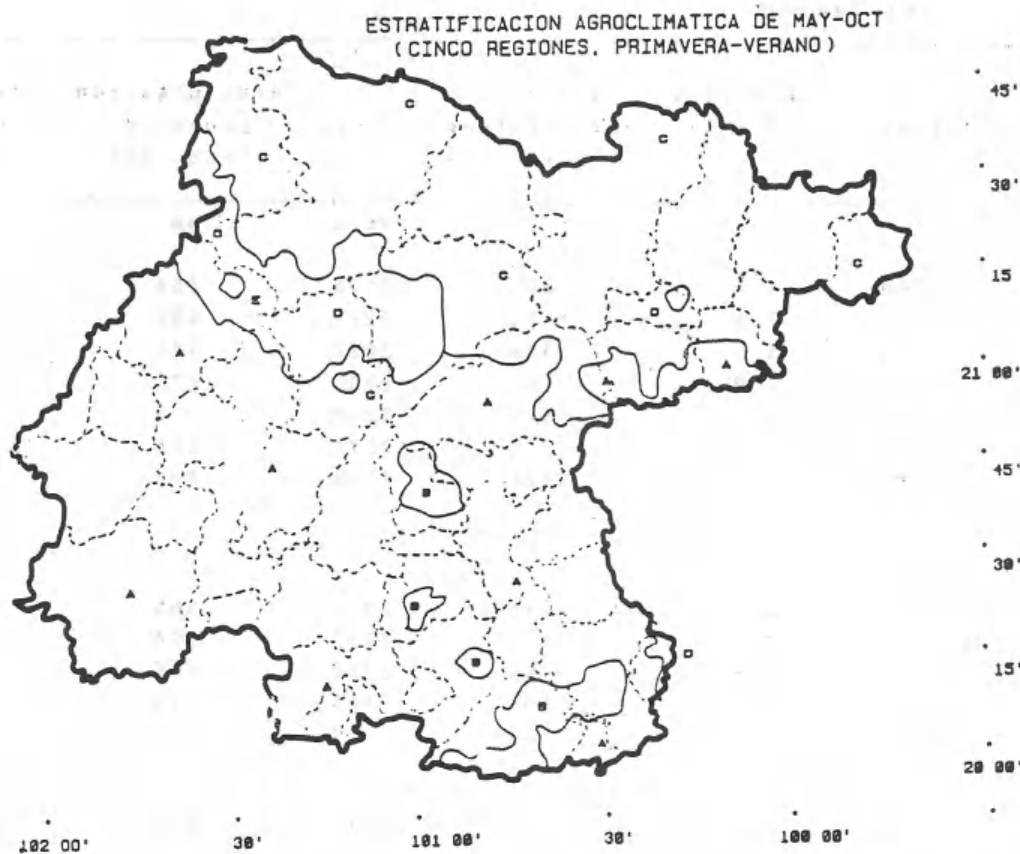


Figura 2. Estratificación agroclimática de mayo-oct (cinco regiones, Primavera-verano).

grupos seleccionados para diseñar la cartografía; en la parte inferior se encuentran las estaciones que pertenecen a cada uno de ellos.

CONCLUSIONES

Se considera importante mencionar que el análisis de agrupación no se complementó con estadísticas para establecer significancias entre y con grupos, tal como lo recomiendan algunos autores (Reddy, 1983; M. Ortiz V., 1986, comunicación personal, CIFAP-Zacatecas).

La definición de límites entre cada región, consistió en considerar el área de influencia de acuerdo a la fisiografía circundante de cada estación. Se reconoce que pueden existir errores en la definición de la

estratificación agroclimática y se espera que este primer análisis sea el inicio de la búsqueda de métodos y técnicas para lograr identificar ambientes similares en el estado de Guanajuato.

En conclusión, el método combinado arrojó resultados confiables definiendo las regiones diferentes tanto en el norte de Guanajuato como en la zona del Bajío. Queda abierta la posibilidad de utilizar otras variables agroclimáticas según se necesite, por ejemplo en estudios que relacionen fenómenos biológicos con el medio físico y edáfico.

La presente estratificación puede auxiliar el proceso de selección de estaciones, con representatividad de una u otra región, en estudios agroclimáticos del Estado.

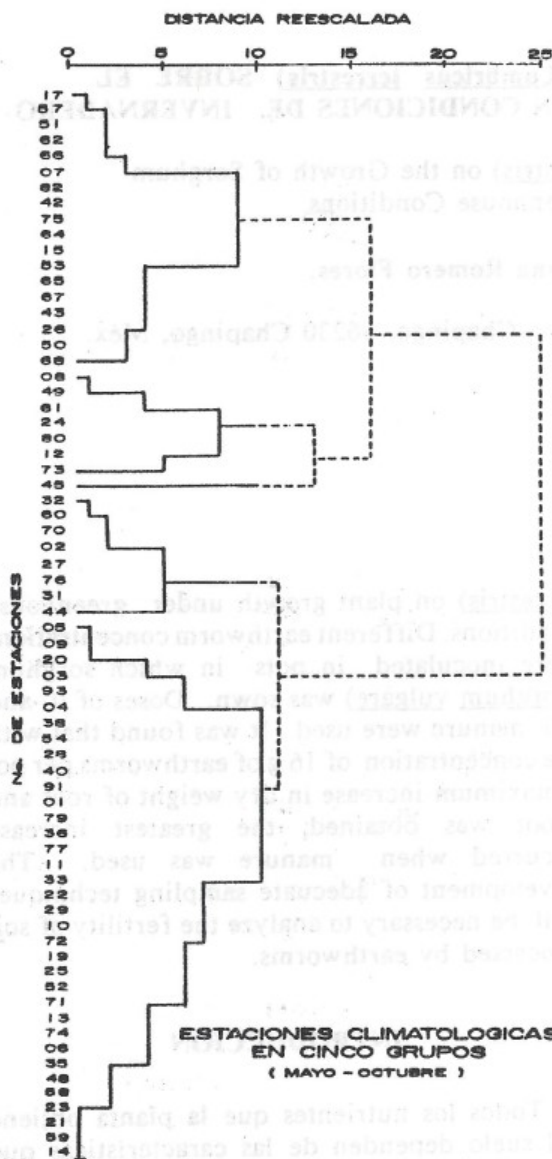


Figura 3. Agrupación de estaciones meteorológicas con datos del período mayo-octubre.

LITERATURA CITADA

GARCIA, E. 1968. Climas de la República Mexicana. Colegio de Postgraduados, Chapingo, México.

REDDY, S.J. 1983. Agroclimatic classification numerical taxonomic procedures - a review. Pesq. Agropec. Brasilia 18 (5): 435-457. Brasil.

SOFTWARE PUBLISHING GROUP. 1985. 123 - Release 2. Lotus Development Corporation, Cambridge, USA.

SPP. 1980. Carta fisiográfica escala 1:500,000. Anexo síntesis geográfica de Guanajuato. Dirección General de Geografía del Territorio Nacional. Secretaría de Programación y Presupuesto. México.

SPSS/PC/MANUAL. 1985. Statistical package for the social sciences for personal computer, Inc. Licence material property of SPSS. USA.

TERRONES R., R. 1989a. Análisis de la condición de humedad en el estado de Guanajuato. SARH-CIFAP-GUANAJUATO. Publicación especial núm. 19. México.

TERRONES R., R. 1989b. Riesgos climatológicos del estado de Guanajuato. SARH-CIFAP-GUANAJUATO. Publicación especial núm. 20 (en prensa). México.

VILLALPANDO I., F., R. TERRONES R. 1988. Elementos climatológicos en el estado de Guanajuato. SARH-CIFAP-GUANAJUATO. Publicación especial núm 14. México.

**EFFECTO DE LA LOMBRIZ DE TIERRA (Lumbricus terrestris) SOBRE EL
CRECIMIENTO DE SORGO (Sorghum vulgare) EN CONDICIONES DE INVERNADERO**

Effect of the Earthworm (Lumbricus terrestris) on the Growth of Sorghum
(Sorghum vulgare) under Greenhouse Conditions.

Rafael E. García-Pérez y Juana Romero Flores.

Departamento de Suelos, Universidad Autónoma Chapingo, 56230 Chapingo, Méx.

Palabras clave: Desarrollo de raíces, Población de lombrices, Estiércol.

Index words: Root development, Earthworm population, Manure.

RESUMEN

Con el objetivo de conocer el efecto de la lombriz de tierra (Lumbricus terrestris) sobre el crecimiento de las plantas, bajo condiciones de invernadero se inocularon diferentes concentraciones de lombrices en macetas con dosis de 0 y 5% de estiércol en las que se sembró sorgo (Sorghum vulgare). La concentración óptima encontrada fue de 16 g de lombriz por maceta donde se tuvieron los máximos incrementos en los pesos de raíz y tallo, siendo éstos mayores en presencia de estiércol. Se indica la necesidad de desarrollar técnicas de muestreo adecuadas para el análisis de fertilidad del suelo procesado por las lombrices.

SUMMARY

The purpose of this paper was to study the effect of the earthworm (Lumbricus

terrestris) on plant growth under greenhouse conditions. Different earthworm concentrations were inoculated in pots in which sorghum (Sorghum vulgare) was sown. Doses of 0 and 5% manure were used. It was found that with the concentration of 16 g of earthworms per pot a maximum increase in dry weight of root and shoot was obtained; the greatest increase occurred when manure was used. The development of adequate sampling techniques will be necessary to analyze the fertility of soil processed by earthworms.

INTRODUCCION

Todos los nutrientes que la planta obtiene del suelo dependen de las características que se presenten en la rizósfera, y por lo tanto cualquier factor que influya en las propiedades físicas, químicas y biológicas en esta zona afecta directamente el desarrollo de los cultivos (Carson, 1974).

Aunque los vegetales pueden completar normalmente su ciclo de desarrollo en un medio estéril conteniendo sólo sales inorgánicas, para el crecimiento adecuado de una planta en condiciones naturales, es indispensable la participación de una gran gama de organismos en el suelo que le proporcionan óptimas condiciones de fertilidad. Las actividades de estos

Recibido 5-89.

organismos modifican las características químicas y físicas del suelo (Mulder *et al.*, 1969).

Los organismos del suelo juegan un papel muy importante en la fertilidad, existiendo una amplia variedad de vida animal y vegetal, de hecho un suelo no está completamente bien desarrollado hasta que su componente inorgánico se encuentra invadido por varios tipos de organismos (Janick *et al.*, 1970).

Sin embargo, a excepción de las bacterias y algunos hongos, casi no existen estudios de los demás tipos de organismos que habitan en un suelo, sobre todo agrícola (Burgess y Raw, 1971).

Uno de los grupos más importantes es el de los lumbrídeos, mejor conocidos con el nombre de lombrices de tierra. Cuando el suelo está húmedo se puede constatar su existencia por los montículos característicos que se encuentran a la entrada de sus galerías sobre la superficie del suelo, ya sea de un bosque, jardín, campo de cultivo, etc. (Bouché, 1984). Estos individuos pueden influir de una forma bastante favorable en el crecimiento de las raíces que forzosamente se refleja en un buen desarrollo integral de la planta. Existe una diversidad de habitats de las lombrices, pudiendo encontrarse especies desde la superficie del suelo hasta sus capas más profundas. La actividad de éstas puede influir la estructura del suelo, ya que sus hábitos alimenticios degradan parcialmente raíces muertas y materia orgánica, y al excavar sus galerías realizan mezclas de las diferentes capas del suelo. Durante este proceso parece favorecerse la formación de agregados estables en agua, así como un mejoramiento en el drenaje, la aireación, la disponibilidad de nutrientes y la propagación de bacterias del suelo (Edwards y Lofty, 1980).

El mantenimiento de la fertilidad de los suelos es determinado por la calidad y dinámica de los residuos orgánicos, ya sean nativos o agregados, que en él se encuentran (Rodríguez, 1988). Debido a sus hábitos alimenticios, las lombrices de tierra prácticamente se comen el suelo, teniendo que pasar éste a través de su tracto digestivo y ser

expulsado en lo que viene a formar los moldes característicos que se encuentran a la entrada de sus galerías. Una cantidad de individuos equivalente a una biomasa de una tonelada por hectárea es capaz de ingerir 250 toneladas de suelo al año excavando aproximadamente entre 4 y 5 mil kilómetros de túneles (Bouché, 1984).

Los moldes formados por sus excreciones en esta actividad resultan en una mezcla de material inorgánico, residuos orgánicos digeridos y productos de la digestión como mucosidades y metabolitos de desecho, que va a influir favorablemente en la fertilidad del suelo (Lee, 1985).

Lo anteriormente mencionado proporciona sólo una ligera idea de la importancia que puede tener la lombriz de tierra en la fertilidad de los suelos. Se han iniciado varios estudios sobre este campo en diversas partes del mundo. El Departamento de Suelos de la Universidad Autónoma Chapingo ha iniciado un proyecto para entender el papel que estos individuos tienen sobre las características de la fertilidad de los suelos con importancia agrícola en nuestro país.

Se inocularon diferentes concentraciones de *Lumbricus terrestris* en macetas con sorgo, en condiciones de invernadero, lo cual asegura un mejor control sobre su recuperación al final del trabajo y una menor variación de las condiciones climáticas, y se registró su efecto sobre la producción de peso seco de la raíz y parte aérea de la planta.

MATERIAL Y METODO

Captura y Establecimiento de Lombrices.

Los individuos se obtuvieron en las zonas cercanas a las regaderas de los terrenos del campo experimental de la Universidad Autónoma Chapingo. El suelo en los puntos de muestreo es franco arenoso. Durante la primavera de 1987, con zapapico y pala, se obtuvieron muestras de suelo húmedo que fueron desintegradas cuidadosamente, y en forma manual se capturaron los individuos

adultos presentes. Para tener un mejor conocimiento de los factores ambientales se trabajó en condiciones de invernadero, en donde las lombrices colectadas fueron colocadas en macetas de plástico con 4 kg de suelo franco arenoso manteniéndose a un rango de humedad de 50-80%, cubriendo los agujeros de drenaje con malla mosquitera para evitar fugas de las lombrices pero permitir el drenaje del agua.

Debido a las altas temperaturas que se presentaban en el invernadero y que pueden llegar a causar la muerte de la lombriz (Lee, 1985), las macetas fueron colocadas en bancales de cemento, previamente rellenos con piedras de tezontle, el cual se mantuvo a capacidad de campo. En consecuencia, las macetas estuvieron constantemente rodeadas por tezontle húmedo expuesto a la evaporación del agua, lo que disminuyó la temperatura de todo el sistema. Esta última varió en un rango de 11-20°C, considerado óptimo para la actividad de estos anélidos (Edwards y Lofty, 1977).

El peso promedio de las lombrices adultas utilizadas fue de 0.50 gramos. Se tomaron 0, 4, 8, 16 y 32 g de lombriz, aproximadamente del mismo tamaño, y se colocaron en macetas, con cinco repeticiones para cada concentración en un diseño completamente al azar. Las lombrices se tuvieron en dos lotes, uno con un suelo franco arenoso tal como se colectó, y otro al que además se le agregó 5% de estiércol seco de bovino.

Para verificar la adaptación de las lombrices, se contaron cada tres días. Las muertes sólo ocurrieron los primeros seis días y las pérdidas fueron inmediatamente reemplazadas, hasta que ya no se presentaban más muertes. Después de 20 días sin muerte de individuos se consideró que estaban ya adaptadas.

Se procedió a sembrar cinco semillas de sorgo (*Sorghum vulgare*) por maceta; a los 10 días de emergidas se dejaron sólo dos plantas, de tamaño homogéneo. El suelo de las plantas se mantuvo siempre al 50-80% de humedad aprovechable hasta la obtención de la cosecha.

A la cosecha se extrajo manualmente la raíz, para determinar su peso seco. Se consideró como parte aérea a partir del último nudo donde se produjeron raíces adventicias del tallo principal. Las lombrices que se encontraban en cada maceta a la cosecha se colectaron, y luego contaron y pesaron.

El suelo de cada maceta fue muestreado y analizado para determinar su textura, materia orgánica, capacidad de intercambio catiónico, conductividad eléctrica, pH y N, P, K por los métodos rutinarios del Laboratorio de Suelos de la Universidad Autónoma Chapingo.

RESULTADOS

Los resultados obtenidos a la cosecha, después de cinco meses de la siembra, se muestran en las Figuras 1 y 2. Aunque estadísticamente no se presentaron diferencias considerables, en la Figura 1 se muestra una tendencia hacia un incremento en el peso seco de la parte aérea, cuando se tuvo una

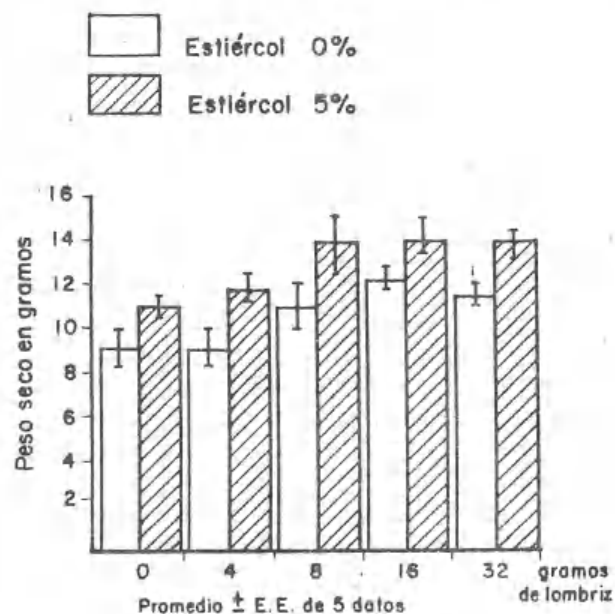


Figura 1. Peso seco de la parte aérea de sorgo (*Sorghum vulgare*) crecido bajo diferentes concentraciones de lombriz (*Lumbricus terrestris*) en invernadero.

concentración mayor de 8 g de lombriz por maceta. Para el tratamiento en que no se agregó estiércol, el incremento máximo se presentó con la concentración de 16 g, manifestándose una ligera disminución con 32 g de lombriz por maceta. En el tratamiento con estiércol, el máximo incremento en peso seco también se presentó a partir de los 8 g de lombriz por maceta, pero se mantuvo casi constante a concentraciones mayores.

Los resultados del peso seco de la raíz se presentan en la Figura 2, donde se puede observar una tendencia similar a los obtenidos en la parte aérea de la planta, teniendo ambos tratamientos un máximo incremento en peso seco a la concentración de 16 g de lombriz por maceta, presentándose una ligera disminución a concentraciones mayores.

Se tuvo un aumento de peso seco de la parte aérea y de la raíz como resultado de la aplicación del 5% de estiércol, pero no se presentaron diferencias en otros parámetros como altura, grosor del tallo, longitud o peso seco de la panícula.

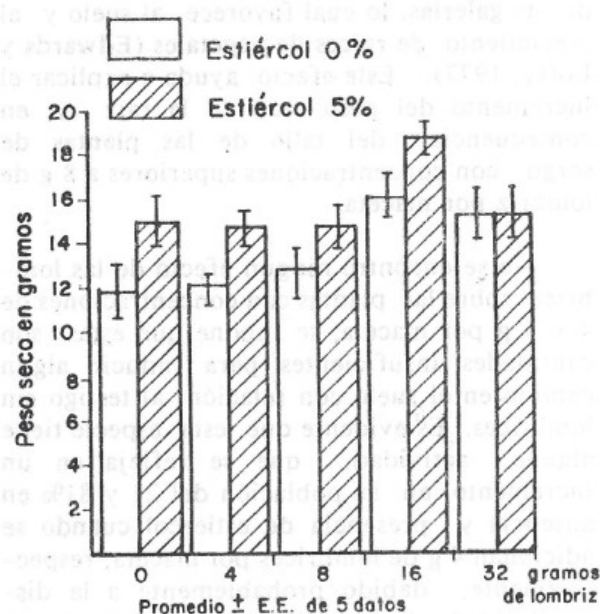


Figura 2. Peso seco de raíz de sorgo (*Sorghum vulgare*) crecido bajo diferentes concentraciones de lombriz (*Lumbricus terrestris*) en invernadero.

Cuadro 1. Porcentaje del peso de lombrices de tierra (*Lumbricus terrestris*) a la cosecha en relación a las inoculadas al inicio del experimento.

Concentración ¹⁾ inicial (100%)	Valores a la cosecha			
	Sin estiércol		5% de estiércol	
g	g	%	g	%
4	4.86	121	7.22	181
8	6.32	79	12.56	157
16	10.42	65	10.42	65
32	16.98	53	20.8	65

¹⁾ El peso promedio de una lombriz es de 0.5 g.

En el Cuadro 1 se muestra la sobrevivencia de las lombrices a la cosecha del sorgo. No se observaron huevecillos. El número de individuos disminuyó con concentraciones mayores a 8 g, siendo menor el porcentaje de sobrevivencia a mayores concentraciones de lombriz. En el tratamiento con estiércol, la disminución se presentó a partir del tratamiento con 16 g manteniéndose la reducción con 32 g de lombriz iniciales por maceta.

Los resultados del análisis del suelo a la cosecha se muestran en el Cuadro 2. No hubo diferencias considerables entre los tratamientos con lombriz, pero sí debido a la aplicación de estiércol.

DISCUSION

La fertilidad de un suelo depende, entre otros factores, de la velocidad con que se llevan a cabo los procesos de descomposición de los materiales que liberan los nutrientes capaces de mantener el crecimiento adecuado de las plantas. Puede considerarse, desde el punto de vista mineralógico, que esto depende de la composición química del material parental del suelo y su velocidad de intemperización y mineralización. Desde el punto de vista biológico, esto depende de la velocidad de descomposición del material orgánico presente

Cuadro 2. Análisis de laboratorio a la cosecha en macetas inoculadas con diferente concentración de lombriz de tierra (*Lumbricus terrestris*) con y sin estiércol.

Conc. de lombriz	pH	MO	N	P	CIC	K	CE
g		%	%	ppm	- meq/100g -		mmho/cm
<u>Sin estiércol</u>							
0	7.85	1.26	0.086	45.25	9.02	0.882	1.02
4	7.95	1.33	0.100	48.34	8.45	0.894	1.22
8	8.05	1.42	0.084	42.27	8.06	0.882	1.43
16	7.95	1.13	0.081	48.37	8.06	0.894	1.33
32	7.85	1.26	0.076	62.12	7.87	0.920	1.18
<u>Con 5% estiércol</u>							
0	8.30	2.59	0.154	146.41	9.79	3.301	4.08
4	8.30	2.52	0.154	129.60	9.02	3.147	4.49
8	8.40	2.16	0.151	121.17	8.83	2.918	3.57
16	8.35	2.58	0.173	112.73	9.41	3.224	3.98
32	8.20	2.59	0.157	87.42	9.22	2.994	3.57

en el suelo, proceso que determina la circulación de nutrientes en el sistema suelo-planta (Lee, 1985).

Ambos procesos contribuyen a la fertilidad del suelo y actúan simultáneamente alcanzando un equilibrio entre ellos, que es influido de manera determinante por los factores ambientales.

Los agentes causales de la descomposición del material orgánico, y en consecuencia del ciclo de nutrientes y la fertilidad biológica son los organismos del suelo, siendo las lombrices de tierra uno de los grupos que intervienen más activamente en este proceso.

Darwin (citado por Satchell, 1983) fue uno de los primeros investigadores en hacer notar que las lombrices de tierra transforman al suelo en un material excelente para el crecimiento de las raíces de cualquier tipo de planta. La lombriz empleada en este trabajo fue la *Lumbricus terrestris*, que puede ser considerada de hábitos anécicos (Bouche, 1984).

Tiene una actividad vertical para el excavado de sus galerías, lo cual favorece al suelo y al crecimiento de raíces de vegetales (Edwards y Lofty, 1977). Este efecto ayuda a explicar el incremento del peso seco de la raíz y, en consecuencia, del tallo de las plantas de sorgo con concentraciones superiores a 8 g de lombriz por maceta.

No se encontró ningún efecto de las lombrices sobre las plantas con concentraciones de 4 y 8 g por maceta; se supone que éstas son cantidades insuficientes para inducir algún cambio en el suelo con relación al testigo sin lombrices. Es evidente que esta especie tiene alguna actividad, que se refleja en un incremento en su población del 21 y 81% en ausencia y presencia de estiércol cuando se adicionan 4 g de lombrices por maceta, respectivamente, debido probablemente a la disponibilidad suficiente de espacio y alimento. A la concentración de 8 g por maceta parece ser que es favorable el espacio pero empieza a volverse limitante el alimento disponible, ya que en presencia de estiércol, su población

aumenta en un 57%, pero sin él disminuye en un 21%.

La mayor actividad de las lombrices parece encontrarse a concentraciones de 16 y 32 g de individuos por maceta, presentando también influencia sobre las características de la fertilidad del suelo, que se manifiesta en un incremento en el peso seco tanto de la raíz como de la parte aérea, en presencia y ausencia de estiércol (Figuras 1 y 2). Este incremento no es lineal, observándose incluso una disminución en el peso seco de la raíz a la concentración de 32 g de lombriz por maceta.

Los resultados anteriores se podrían explicar con base en la disponibilidad de espacio y alimento de estos individuos. El contenido de materia orgánica influye grandemente en la actividad de las lombrices (Edwards y Lofty, 1977). A la concentración de 32 g probablemente no sólo el alimento se vuelve limitante sino también el espacio adecuado para la sobrevivencia de toda la población, manifestándose en ésta una fuerte disminución. Los individuos que sobreviven desarrollan una actividad que favorece el crecimiento de la planta.

El efecto que se observa con 32 g de lombrices por maceta indica que este tamaño de población es incapaz de sobrevivir en el sistema experimental ensayado. Se presenta un porcentaje menor de sobrevivencia si se toma en consideración el total de las lombrices inoculadas. De éstas mueren aproximadamente 16 g, tanto en presencia como en ausencia de estiércol, lo que indica que también el espacio, y no sólo el alimento, puede ser limitante. La población final en este tratamiento fue similar a la concentración inicial de 16 g de lombriz por maceta.

Con base en lo anterior podríamos concluir que la concentración de 16 g de lombrices por maceta, 32 individuos, es suficiente para desarrollar una actividad favorable sobre las características de fertilidad del suelo y establecer una población adecuada en equilibrio con el espacio y alimento disponible, que influya favorablemente en el crecimiento de la

planta bajo las condiciones experimentales del presente trabajo.

Las tendencias que se presentan en las Figuras 1 y 2, nos indican que las diferencias encontradas son resultado de la actividad de las lombrices y no del material aportado al suelo por los individuos muertos. El máximo incremento de peso seco se obtuvo con una concentración de 16 g de lombrices por maceta con un 65% de sobrevivencia, que es aproximadamente un aporte de 6 g de peso fresco de lombriz, y no con la concentración de 32 g donde la sobrevivencia fue similar, pero el aporte alcanzó a 12 g de lombrices y en consecuencia mayor cantidad de material orgánico al suelo.

Los incrementos observados en presencia de estiércol están de acuerdo con el efecto del estiércol sobre el crecimiento de las plantas lo que indica la funcionalidad de nuestro sistema experimental.

Aún no está bien establecida la metodología para analizar los cambios de características físicas y químicas del suelo, pues el volumen de suelo muestreado enmascara el efecto sobre la fracción de suelo procesado por las lombrices. Esto hace que algunos autores reporten que no hay efecto sobre textura, materia orgánica, pH, N, K y P (Guzmán, 1984), aunque otros han encontrado efectos favorables (Barley y Jennings, 1959; Bouché, 1984; Edwards y Lofty, 1980). Tal controversia parece ser debida a la técnica de muestreo del suelo a analizar y el tiempo de exposición a la acción de las lombrices.

Tampoco existen reportes sobre cual es el efecto directo sobre los procesos de crecimiento de las plantas que se ven favorecidos por la actividad de las lombrices, siendo necesario profundizar en este tipo de estudios.

LITERATURA CITADA

- BARLEY, K.P. y A.C. JENNINGS. 1959. Earthworms and soil fertility. Aust. J. Agric. Res. 10: 172-178.

- BOUCHE, M.** 1984. Les vers de terre. La Recherche 156: 796-804.
- BURGES, A. y F. RAW.** 1971. Biología del suelo. Ed. Omega, Barcelona.
- CARSON, E.W.** 1974. The plant root and its environment. University Press of Virginia, USA.
- EDWARDS, C.A. y J.R. LOFTY.** 1977. Biology of earthworms. 2a. Ed. Chapman y Hall. John Wiley y Sons, New York.
- EDWARDS, C.A. y J.R. LOFTY.** 1980. Effects of earthworms inoculation upon the root growth of direct drilled cereals. J. of Applied Ecology 17: 533-543.
- GUZMAN CASARIN, A.R.** 1984. Efecto de las lombrices de tierra (*Lumbricidae*) sobre las principales características edafológicas a nivel de invernadero. Tesis Profesional. ITESM, México.
- JANICK, J., R.W. SCHERY y F.W. WOODS.** 1970. Plant agriculture. W.H. Freeman, San Francisco.
- LEE, K.E.** 1985. Earthworms, their ecology and relationships with soil and land use. Academic Press. Australia.
- MULDER, E.G., T.S. LIE y J.V. WOLDENDORP.** 1969. Biology and soil fertility. In: Soil Biology. UNESCO. Vaillant-Carmanne. Bélgica.
- RODRIGUEZ NEAVE, F.** 1988. Abonos orgánicos. Formación de sustancias húmicas. Mineralización del nitrógeno. Serie monografías No. 5. Depto. de Suelos. UACH. Chapingo, Méx.
- SATCHELL, J.E.** 1983. Earthworms ecology. In: T. Darwin (Ed.) Vermiculture. Chapman Hall. London, New York.

EFFECTO DE CUATRO AÑOS DE ESTERCOLAMIENTO SOBRE ALGUNAS CARACTERISTICAS DEL SUELO Y EL RENDIMIENTO DE FORRAJES

Effect of Manuring During Four Years on Some Soil Characteristics and on Forage Yields.

Javier Z. Castellanos, Gerardo A. Longoria y Jesús A. Muñoz.

Campo Experimental Bajío. CIFAP-GTO. Apdo. Postal 112. Celaya, Gto.

Palabras clave: Estiércol, Propiedades físicas del suelo, Materia orgánica, Fósforo disponible, Compactación, Malezas, Ballico anual, Maíz forrajero.

Index words: Manure, Soil physical properties, Organic matter, Available phosphorus, Soil compaction, Weeds, Rye grass, Silage corn.

RESUMEN

El mejoramiento de un suelo a través del estiércol es un proceso que suele tomar varios años, e igualmente sus efectos residuales se pueden prolongar por varios ciclos. El presente trabajo se estableció en el Campo Agrícola Experimental La Laguna en 1981 y en este reporte se presentan los resultados del cuarto año. Los tratamientos estudiados fueron un testigo sin aplicación de estiércol, 30 ton de estiércol $\text{ha}^{-1}\text{año}^{-1}$, 60 ton $\text{ha}^{-1}\text{año}^{-1}$, y 120 y 240 ton ha^{-1} en una sola aplicación durante el primer año. Las aplicaciones de estiércol durante los cuatro años se han realizado durante el otoño y posteriormente se

hasembrado ballico anual. Después del ballico el terreno se barbecha y se siembra maíz forrajero. Ambos cultivos reciben la dosis recomendada del fertilizante. Los datos tomados en 1984-85 fueron: rendimiento de forraje seco en ambos cultivos, incidencia de maleza, densidad aparente, resistencia de suelo, contenido de materia orgánica y fósforo disponible del suelo al final del cultivo de maíz. El rendimiento total de ballico anual fue de 10.3, 14.3, 16.1, 12.6 y 13.6 ton ha^{-1} , respectivamente para los tratamientos arriba mencionados. Los rendimientos del maíz no fueron significativamente afectados por el estiércol. La aplicación de estiércol abatió significativamente la densidad aparente y elevó el contenido de materia orgánica y el fósforo disponible del suelo. El estiércol presentó efectos residuales aún cuatro años después de la aplicación. La aplicación de este desecho orgánico redujo el impacto negativo del paso de maquinaria sobre la compactación del suelo.

SUMMARY

Improving the soil with manure is a long term process which may take several years and its residual effects may last for several crops as well. This experiment was established at the Experimental Station La Laguna in Coahuila,

Mexico in 1981. The results of the fourth year are discussed in this report. Manure treatments included: a control with no manure, 30 ton ha⁻¹ year⁻¹, 60 ton ha⁻¹ year⁻¹, and 120 and 240 ton ha⁻¹ in only one application during the first year. Manuring was done every year during September. After manure application rye grass was planted during the winter and forage corn during the summer. Both crops received the recommended rates of fertilizer. Data for forage yield in both crops, weed presence, soil bulk density, soil organic matter and available soil phosphorus after corn were collected during 1984-85. Total dry matter yields for rye grass, were: 10.3, 14.3, 16.1, 12.6 and 13.6 ton ha⁻¹, respectively for the treatments mentioned above. Corn forage yields were not significantly affected by manure. Manure application significantly decreased bulk density, but increased organic matter and available phosphorus. Residual effects of manure application were reported even four years after application. The application of this organic waste significantly reduced the negative impact of traffic wheels on soil compaction.

INTRODUCCION

El mejoramiento de un suelo a través de estiércol es un proceso que suele tomar varios años e igualmente sus efectos residuales se pueden prolongar por varios ciclos. Una de las variables más importantes que se afectan al estercolar un suelo es su contenido de materia orgánica a lo que puede ir aparejado un mejoramiento de propiedades físicas (Mathers y Stewart, 1980; Meek *et al.*, 1982) y aumento en la fertilidad del suelo (Castellanos y Pratt, 1981; Pratt y Laag, 1981).

Por otra parte, el estiércol también puede provocar problemas al suelo mediante la introducción de sales cuando se aplica en altas dosis (Mathers y Stewart, 1980), o mediante la introducción de semilla de malezas, tal como lo reportan Harmon y Keim (1934).

Para determinar la dosis adecuada del estiércol es necesario plantear investigación a largo plazo y discriminar el tipo de efecto que

produce en el suelo y en el cultivo; sólo así será posible obtener guías de utilización para aprovechar racionalmente este subproducto de la ganadería que día a día cobra más valor, bien como fertilizante o bien como mejorador de propiedades físicas del suelo.

El objetivo del presente trabajo fue evaluar el efecto de la dosis de estercolamiento y su residualidad al final de un período de cuatro años en relación a las propiedades del suelo y al rendimiento de ballico y maíz forrajero.

MATERIALES Y METODOS

El experimento se estableció en los terrenos del Campo Agrícola Experimental La Laguna en un suelo franco arcilloso con un contenido inicial de 0.97% de materia orgánica, 14.2% de CaCO₃ y un pH de 8.2. Los estiércoles utilizados durante los cuatro años contenían respectivamente 57.8, 67.0, 61.4 y 58.7% de materia orgánica; 2.25, 1.99, 1.49 y 1.86% de nitrógeno; 0.44, 0.62, 0.57 y 0.57% de fósforo; todos estos datos en base seca. En cada uno de los cuatro años el estiércol contenía 33, 11, 18 y 5% de humedad, respectivamente.

El experimento se inició en octubre de 1981. Incluyó los siguientes tratamientos: un testigo sin aplicación de estiércol, 30 ton ha⁻¹ año⁻¹, 60 ton ha⁻¹ año⁻¹, 120 ton ha⁻¹ aplicados sólo al primer año y 240 ton ha⁻¹ aplicados solamente al primer año. Estos tratamientos se repitieron cuatro veces en un diseño en bloques al azar en parcelas de 9x9m. Durante los cuatro años el estiércol se aplicó en los meses de septiembre y octubre de acuerdo a los tratamientos del ballico y después de este cultivo se sembró maíz durante el verano. Durante los cuatro años el experimento se fertilizó en forma generalizada con la fórmula 80-60-0 al establecimiento del ballico y con 60 kg de N ha⁻¹ corte⁻¹. El maíz recibió la dosis de 130-60-0 el primer año y 160-60-0 los años subsiguientes.

En este reporte se presentan los datos del cuarto año, en el cual la siembra del ballico del cultivar Oregon se realizó el 27 de septiembre

de 1984 y después del riego de germinación se aplicó un total de siete riegos de auxilio con láminas de 10 a 12 cm. Se dio un total de cuatro cortes los días 16 de diciembre de 1984, 9 de enero, 21 de febrero y 28 de marzo de 1985, para obtener los datos de rendimiento de materia seca y N total en el forraje de cada corte. Después del ballico se sembró maíz forrajero CV H-412 en mayo 5 de 1985 y se fertilizó con la fórmula 160-60-0 en forma generalizada y al cual se le aplicaron tres riegos de auxilio de 14 cm de lámina. La cosecha de forraje de maíz se realizó el 12 de agosto. Al inicio del ciclo de ambos cultivos se presentó una alta incidencia de maleza por lo que se procedió a hacer una evaluación de las mismas durante el 7 de noviembre en el cultivo de ballico y el 20 de mayo en el cultivo de maíz.

Se tomaron datos de densidad aparente en tratamientos seleccionados durante octubre 10, noviembre 12, enero 29 y febrero 6 en el cultivo de ballico y durante junio 5 y julio 24 en el cultivo de maíz. Se utilizó el método de la barrena para muestras inalteradas (Blake, 1965). En junio 4 se realizó una prueba de penetrabilidad del suelo en el cultivo de maíz mediante el uso de penetrógrafo descrito por Carter y Tavernetty (1968) en la cual se midió la resistencia del suelo en los primeros 30 cm de profundidad en cinco sitios del surco: centro y costado del surco con tráfico de maquinaria, centro y costado del surco sin tráfico de maquinaria y en la hilera de plantas.

Después de la cosecha de maíz se tomaron 12 muestras de suelo por parcela para los estratos de 0-30, 30-45, 45-60 y 60-90 cm de profundidad y de los cuales se obtuvo una muestra compuesta para cada estrato. Estas muestras fueron secadas al aire, tamizadas por malla de 2 mm y en ellas se analizaron materia orgánica en los dos primeros estratos por el método de Walkley y Black (1934) y fósforo disponible en todos los estratos por el método de Olsen *et al.* (1954).

RESULTADOS Y DISCUSION

Rendimiento.

En el Cuadro 1 se presentan los datos de rendimiento de ballico en los cuales se aprecia una respuesta importante a la aplicación de estiércol, con incrementos del 39 y 56% en relación al testigo para las dosis de 30 y 60 ton ha⁻¹año⁻¹, respectivamente. También se aprecia el efecto residual de las dosis de 120 y 240 ton ha⁻¹ aplicadas cuatro años atrás. Este incremento en rendimiento puede ser motivado por dos causas: un mejoramiento de las propiedades físicas del suelo o una mayor disponibilidad de nitrógeno de los tratamientos estercolados.

En el Cuadro 2 se presentan los datos de concentración de N total en el forraje seco de ballico para los cuatro cortes realizados durante

Cuadro 1. Rendimiento de materia seca de ballico durante el 4o. año, de acuerdo a los tratamientos de estiércol. 1984-1985.

Dosis estiércol				1er.	2o.	3er.	4o.	Total
1981	1982	1983	1984	Corte	Corte	Corte	Corte	
ton ha ⁻¹				ton ha ⁻¹				
0	0	0	0	1.58 a*	2.22 a	3.01 a	3.50 a	10.31 a
30	30	30	30	2.60 c	3.49 d	3.75 b	4.50 b	14.34 c
60	60	60	60	2.41 bc	3.74 d	4.56 c	5.47 c	16.08 d
120	0	0	0	2.14 b	2.80 b	3.63 b	4.03 b	12.60 b
240	0	0	0	2.18 bc	3.21 c	3.94 b	4.25 b	13.58 b

*Valores con la misma letra dentro de una columna no son estadísticamente diferentes (Duncan, 0.05).

Cuadro 2. Concentración de N total en el forraje ballico anual durante 1984-1985.

Dosis estiércol				1er.	2o.	3er.	4o.	Promedio
1981	1982	1983	1984	Corte	Corte	Corte	Corte	
ton ha ⁻¹				N total				
-----				-----				-----
				%				
0	0	0	0	2.85	2.57	2.26	2.38	2.52
30	30	30	30	3.58	2.85	2.50	2.33	2.82
60	60	60	60	3.50	3.20	2.39	2.78	2.97
120	0	0	0	3.12	2.95	2.10	2.51	2.67
240	0	0	0	3.20	2.92	2.26	2.64	2.75

1984-1985. Conforme aumenta la dosis de estiércol, la concentración de N total en el forraje tiende a aumentar y este efecto es más pronunciado en los primeros cortes. De aquí se desprende que el incremento en rendimiento de ballico anual se debe parcialmente a una mayor suplementación de N al suelo proveniente del estiércol por encima de la dosis aplicada de fertilizante mineral que fue de 60 kg de N ha⁻¹corte⁻¹.

Los rendimientos de ensilaje de maíz se presentan en el Cuadro 3 y en él se puede apreciar la ausencia de respuesta. Es probable que esta diferencia sea debida al efecto compensatorio que provoca la competencia de malezas al inicio del ciclo en los tratamientos estercolados, o bien a que este cultivo no respondió a dosis de nitrógeno mayores a las aplicadas con fertilizante químico, como ocurrió con el ballico. Por otro lado, el efecto inmediato de la aplicación del estiércol lo recibió el ballico. También es posible que el maíz haya resultado menos afectado por restricciones de tipo físico, de allí su ausencia de respuesta a la aplicación de estiércol. Es muy posible que todos estos factores estén involucrados para explicar la ausencia de respuesta de este cultivo.

Malezas.

Al inicio del cultivo de ballico se observó una alta incidencia de verdolaga (*Portulaca oleracea* L.), lo cual se acentuó debido a la siembra relativamente temprana en relación a

Cuadro 3. Rendimiento materia seca de maíz para ensilaje de acuerdo a los tratamientos de estiércol. 1985.

1981	Dosis de estiércol			Rendimiento
	1982	1983	1984	
-----				ton ha ⁻¹
ton ha ⁻¹				
0	0	0	0	14.3 a
30	30	30	30	14.2 a
60	60	60	60	14.4 a
120	0	0	0	15.8 a
240	0	0	0	14.6 a

años anteriores. Observaciones visuales mostraron que en los tratamientos estercolados las malezas cubrían cerca del 50% de la superficie mientras que el testigo sólo mostró un 9% de cobertura de malezas, y esta diferencia fue estadísticamente significativa. Sin embargo, por ser esta maleza susceptible al frío, la primer helada del año detiene su desarrollo y no causa problemas de competencia al ballico excepto cuando las bajas temperaturas se retrasan en el año.

El problema de malezas suele ser más importante en el cultivo de maíz tal como se aprecia en el Cuadro 4. La principal maleza de verano es la verdolaga cuyo número fue cuatro a cinco veces más alto en algunos tratamientos estercolados que en el testigo. El quelite se comporta en forma similar y la frecuencia

Cuadro 4. Especies y número de malezas presentes en el cultivo de maíz de acuerdo a tratamientos de estiércol seleccionados durante el cuarto año. 1985.

Dosis de estiércol				Número de malezas			Peso seco
1981	1982	1983	1984	Verdolaga	Zacate P.	Quelite	Total de maleza
ton ha ⁻¹				miles ha ⁻¹			ton ha ⁻¹
0	0	0	0	128 a	582 c	3 a	0.50 a
60	60	60	60	586 b	376 a	30 b	0.89 b
240	0	0	0	509 b	458 ab	16 a	0.59 a

Cuadro 5. Efecto de la dosis de estiércol sobre la densidad aparente del suelo en tratamientos seleccionados durante el cuarto año de estercolamiento, 1984-1985.

Dosis de estiércol				Densidad aparente promedio	
1981	1982	1983	1984	Cultivo de ballico	Cultivo de maíz
ton ha ⁻¹				g cm ⁻³	
0	0	0	0	1.19 b*	1.17 b
60	60	60	60	1.07 a	1.11 a

* Valores con la misma letra dentro de una columna no son estadísticamente diferentes (Duncan, 0.05).

de estercolamiento está incrementando la incidencia de esta maleza. Con zacate pinto ocurre un fenómeno inverso, es decir, hay mayor infestación en el testigo que en los estercolados. Esto se puede explicar en base a la ecología de esta maleza, pues prospera donde más humedad haya en la parte superficial del suelo, situación que es menos favorable para esta maleza en los tratamientos con estiércol, debido a que en éstos ocurrió una mayor permeabilidad del suelo.

Densidad Aparente.

En el Cuadro 5 se presentan los datos de densidad aparente del suelo en dos tratamientos seleccionados durante varias fechas de muestreo. Esta variable también fue significativamente afectada por la aplicación de estiércol, lo cual pudo haber influido en una mejor relación agua-suelo-planta por los tratamientos estercolados con el consecuente aumento en rendimiento al menos para el ballico anual. Se puede apreciar también que

durante el primer cultivo la densidad aparente del suelo se reduce en forma más significativa que durante el segundo.

Penetrabilidad.

En el Cuadro 6 se presentan los datos de penetrabilidad del suelo de acuerdo a la posición de muestreo en el surco para dos tratamientos seleccionados. Estos datos muestran que el estiércol tiende a reducir el impacto de la compactación del suelo provocado por la maquinaria, pues aunque el tráfico de maquinaria incrementa la resistencia del suelo, dicho incremento es significativamente menor en el tratamiento con estiércol.

Análisis de Suelo.

En el Cuadro 7 se presentan los datos de materia orgánica del suelo y P disponible al final del cuarto año de acuerdo a los tratamientos de estiércol. Las dosis de 30 y 60 ton ha⁻¹ año⁻¹ mostraron un incremento al final

del cuarto año del 50 y 80% en relación al testigo, así mismo se pueden observar los efectos residuales en las dosis de 120 y 240 ton ha⁻¹ aplicadas cuatro años atrás. El P disponible muestra un fenómeno muy similar al de la materia orgánica y además en los estratos inferiores se presenta la influencia de los tratamientos de estiércol, especialmente en los tratamientos con aplicaciones anuales de estiércol. Esto representa una ventaja en cierta forma, pues le permite al cultivo abastecerse de P de horizontes más profundos realizando por lo tanto una absorción más eficiente del mismo (Pratt y Laag, 1981).

CONCLUSIONES

De acuerdo a los resultados del presente estudio, se puede concluir que el estiércol mejora significativamente las características físicas del suelo, incrementa el rendimiento de ballico y aumenta su contenido de proteína. Las determinaciones de resistencia del suelo al penetrómetro indican que el estiércol reduce el impacto negativo del paso de maquinaria. El estiércol presenta efectos residuales aún después de cuatro años de la aplicación, cuando éste se aplica a dosis altas. El incremento

Cuadro 6. Resistencia del suelo al penetrómetro, para dos tratamientos seleccionados en diversas posiciones de los surcos alternos: uno con tráfico de tractor y otro sin él.

Tratamientos de estiércol	Resistencia del suelo ¹⁾				
	Surco sin tráfico		Hilera de plantas		
	Centro	Costado	Costado	Costado	Centro
	kg cm ⁻²				
Testigo	3.91 a	3.78 a	4.23 a	5.43 a	7.49 b
60 ton ha ⁻¹ año ⁻¹	3.94 a	4.06 a	4.05 a	4.74 a	5.29 a

¹⁾ El riego de auxilio se aplicó en mayo 31 y la determinación se realizó en junio 4 de 1985.

Cuadro 7. Contenido de materia orgánica y P soluble en Na HCO₃ en el suelo durante el cuarto año, de acuerdo a los tratamientos de estiércol, CIAM-INIFAP, 1985.

Dosis de estiércol				Materia orgánica		Fósforo disponible			
1981	1982	1983	1984	0-30 cm	30-45 cm	0-30 cm	30-45 cm	45-60 cm	60-90 cm
ton ha ⁻¹				%		mg kg ⁻¹			
0	0	0	0	1.06 a*	0.72 a	7.8 a*	5.4 a	4.4 a	2.6 a
30	30	30	30	1.36 bc	0.80 ab	27.1 c	6.2 ba	5.2 a	3.5 b
60	60	60	60	1.87 d	0.98 b	53.5 e	16.8 bc	6.5 b	5.9 c
120	0	0	0	1.29 b	0.71 a	17.0 b	13.8 b	5.3 ab	2.6 a
240	0	0	0	1.48 c	0.96 b	34.3 d	18.7 c	5.3 ab	4.4 b

* Valores con la misma letra dentro de una columna no son estadísticamente diferentes (Duncan, 0.05).

en el contenido de fósforo disponible resultó muy significativo, tanto en el estrato superficial como en los estratos más profundos creando una reserva considerable en el suelo.

LITERATURA CITADA

BLAKE, G.R. 1965. Particle density. In: Methods of soil analysis. Part I. Monograph No. 9, Ed. C.A. Black ASA. SSSA. Madison, Wis. p. 374-390.

CARTER, L.M. y J.R. TAVERNETY. 1968. Influence of precision tillage and soil compaction and cotton yields. Transactions ASAE 11 (1): 65-67, 73.

CASTELLANOS, J.Z. y P.F. PRATT. 1981. Nitrogen availability in animal manures and crop yields. Agrochimica 25: 443-451.

HARMON, G.W. y F.D. KEIM. 1934. The percentage and viability of weed seeds recovered in the feces of farm animals and their longevity when buried in manure. Jour. Amer. Soc. Agron. 26: 762-767.

MATHERS, A.C. y B.A. STEWART. 1980. The effect of feedlot manure on soil physical and chemical properties. In: Livestock Waste: A renewable resource. Proc of the 4th International Symposium on livestock wastes. ASAE. 2-81. p 159-163.

MEEK, B., L. GRAHAM y T. DONOVAN. 1982. Long-term effect of manure on soil nitrogen, phosphorus, potassium, sodium, organic matter and water infiltration rate. Soil Sci. Soc. Amer. J. 46: 1011-1019.

OLSEN, S.R., C.V. COLE, F.S. WATANABE y L.A. DEAN. 1954. Estimation of available phosphorus in soil by extraction with sodium bicarbonate, USDA. Cir. No. 939.

PRATT, P.F. y A. LAAG. 1981. Effects of manure and irrigation on sodium bicarbonate-extractable phosphorus. Soil Sci. Soc. Am. J. 45: 887-888.

WALKLEY, A. y A. BLACK. 1934. An examination of the Degtjaseff method for determining soil organic matter and proposed modification of the chromic acid titration method. Soil Sci. 27: 29-38.

SUMMARY

In the northern region of Coahuila most of the farmers irrigate by turn, and for long time the best water management has been difficult in the field because the irrigation scheduling required for the crops does not fit with the water distribution program by turn.

In this paper we show through a simulation that deficit irrigation can satisfy the farmer's goal (more earnings), the agriculture engineer's goal (water/soil

RESUMEN

En el norte de Coahuila la mayoría de los agricultores riega por turnos, y por mucho tiempo el manejo óptimo de agua se ha dificultado en el campo porque los calendarios de riego en los cultivos no se ajustan al programa de distribución de agua por turnos.

En este estudio se demuestra que la irrigación con déficit controlado es congruente con la meta del agricultor (ganar más), con la meta del irrigador y suelto (conservar agua) y con la meta social (producir más alimentos básicos). Además permite ajustar los

PRODUCTIVIDAD DE UN PATRON DE CULTIVOS REGADO POR TANDEOS

Productivity of a Crop Pattern Irrigated Under a Water Distribution System by Turns

Gregorio Briones S.

Departamento de Riego y Drenaje, UAAAN, Buenavista, 25315 Saltillo, Coah.

Palabras clave: Calendarización del riego, Función de producción, Siembras escalonadas, Optimización ingreso neto, Rendimiento por parcela, Rendimiento de la unidad productiva.

Index Words: Irrigation scheduling, Yield function, Sequential seeding, Net income maximization, Yield per plot, Yield per farm, Crop pattern.

RESUMEN

En el norte de Coahuila la mayoría de los agricultores riega por tandeos, y por mucho tiempo el manejo óptimo de agua se ha dificultado en el campo porque los calendarios de riego en los cultivos no se ajustan al programa de distribución de agua por turnos.

En este estudio se demuestra que la irrigación con déficit controlado es congruente con la meta del agricultor (ganar más), con la meta del irrigador y suelero (conservar agua y suelo) y con la meta social (producir más alimentos básicos). Además permite ajustar los

calendarios de riego a los intervalos fijos de entrega, especialmente en los cultivos donde es más importante el cuándo regar.

También se promueve un incremento en la superficie regable y aunque reduce los rendimientos por parcela, incrementa significativamente el rendimiento de la unidad productiva. De igual forma, los más altos niveles de productividad se asociaron con la irrigación déficit, encontrando que una suboptimización del rendimiento por parcela maximiza el ingreso neto del trigo al distribuir 12 tandeos en 6, 4 ó 3 lotes sembrados secuencialmente en las fechas y con las variedades recomendadas.

SUMMARY

In the northern region of Coahuila most of the farmers irrigate by turns, and for long time the best water management has been difficult in the field because the irrigation scheduling required for the crops does not fit with the water distribution program by turns.

In this paper we show through a simulation that deficit irrigation can satisfy the farmer's goal (more earnings), the agriculture engineer's goal (water/soil

conservation) and basic social demand (more food). Besides, with deficit irrigation water management can be better adjusted to a schedule of typical fixed intervals of water distribution by turns; especially for those crops that significantly respond to critical stages irrigation.

Deficit irrigation can also increase the irrigated area, and although it reduces the yield per acre, more acres could be irrigated increasing significantly the total yield. With the distribution of 12 irrigations by turns in 6, 4 or 3 plots sequentially seeded using a crop pattern with varieties of long and medium cycle, we found that the highest levels of productivity were associated with an underirrigation which underoptimized the yield/acre but maximized the yield expected on the farm.

INTRODUCCION

Cuando el agua de riego se entrega al usuario por tandeos, generalmente tiene que aplicarse a los cultivos aunque éstos no la necesiten. En el norte de Coahuila la mayoría de los agricultores riegan por tandeos ("dulas") y por muchos años la transferencia de la tecnología de riego se ha dificultado, cuando mucho se ha llegado al nivel de parcela demostrativa y semicomercial, pero no se ha trascendido al nivel comercial.

Evolución de la Calendarización del Riego

Los agricultores que riegan por tandeos, generalmente se abastecen de manantiales, cuyo caudal fluye todo el año y es distribuido entre los usuarios cada 15, 17 ó 30 días. Estos intervalos fijos de entrega, llamados regionalmente "dulas", han limitado el uso de las funciones de producción y la calendarización con sensores de humedad a nivel parcelario, debido a que los abatimientos no se ajustan a los intervalos fijos de entrega.

Los calendarios de riego con intervalos fijos y láminas variables prometieron mejor adaptación, pero su aplicación en el campo

significaba para el agricultor tener que aforar el caudal aplicado y registrar los tiempos de riego, para lo cual muchos no están capacitados. Además la opción significaba sacrificar algo de rendimiento en parte de la superficie cultivada.

Afortunadamente, la investigación ha demostrado que se puede suspender la irrigación en ciertas fases fenológicas del cultivo y cosechar todavía un rendimiento económico aceptable; siendo clave en la calendarización con déficit controlado no cuánta agua aplicar sino aplicarla cuándo las plantas más la necesitan (Valmont, 1980). Por ejemplo, en trigo y sorgo las fases fenológicas más sensibles al déficit de agua son embuche y polinización (Briones, 1985a), mientras que en maíz son la 12-ava hoja, espigamiento y jiloteo (Westerholt, 1980).

Con la irrigación en fases críticas del cultivo no solamente se ahorra agua (de 20 a 40 %) sino que además se ahorra dinero, energía y mano de obra.

Optimización del Ingreso Neto

En el norte de Coahuila, como en muchas otras regiones del norte de México, el agua y la energía para su bombeo y distribución son limitantes, por lo que en cualquier actividad del sector agrícola se busca ahorrar agua, energía y mano de obra, combinando los recursos e insumos con tecnologías que maximicen el ingreso neto no sólo de un cultivo en particular sino del patrón de cultivos manejado en la unidad agrícola (USDA, 1979).

La irrigación en fases fenológicas críticas es de fácil aplicación en el campo porque el agricultor está familiarizado con el cultivo, además es la mejor alternativa para maximizar el ingreso neto y promete adaptarse con mayor flexibilidad al sistema de distribución del agua por turnos.

En varios lugares de los Estados Unidos y también en Israel se han probado algunos modelos de optimización basados en programación lineal que involucran el balance

del agua, la respuesta de los cultivos y restricciones de riego, energía y mano de obra. Tales modelos computarizados se han estructurado para distribuir el agua secuencialmente en el campo y generar los nuevos calendarios de riego para varios cultivos, sin embargo, su mayor repercusión se ha obtenido solo en campos regados por bombeo donde el diseñador decide directamente sobre la administración del agua y puede "moverse" con libertad sobre la función de producción (Amir *et al.*, 1976; Arlosoroff, 1978; Valmont, 1980; Ron, 1978; Pleban *et al.*, 1983; Yaron *et al.*, 1987).

Objetivos, Hipótesis, Restricciones y Limitaciones

Objetivos. Optimizar el ingreso neto esperado en un patrón de cultivos regado por tandeos con 1, 2 ó 3 riegos de auxilio.

Hipótesis. Al suboptimizar el rendimiento por parcela se maximiza el ingreso neto de la unidad productiva.

Restricciones. Los calendarios experimentales deben diseñarse con intervalos de riego que aproximadamente se ajusten a los intervalos fijos de entrega y los riegos coincidir con las fases fenológicas críticas del cultivo.

Limitaciones. Falta más información experimental acerca de la interacción fecha de siembra x riegos x variedad para variedades tardías, intermedias y precoces. Se requiere actualización constante de costos y precios para obtener valores absolutos del ingreso financieramente confiables.

MATERIALES Y METODOS

En este trabajo se estima la productividad esperada en tres patrones de cultivos regados por tandeos con 1, 2 ó 3 riegos de auxilio, y se aplica un análisis tabular tipo presupuesto para examinar el ingreso neto asociado con la calendarización.

Los patrones de cultivo se desarrollaron simulando una siembra escalonada de dos variedades de trigo regadas secuencialmente para aprovechar 12 tandeos consecutivos sin desperdiciar ninguno.

Distribución de Tandeos en Siembras Escalonadas

El procedimiento empleado para simular la distribución de los tandeos en siembras escalonadas de trigo se describe a continuación.

Se calculó el número de tandeos comprendido entre el inicio del ciclo de siembras (15 noviembre) y espigamiento del trigo (30 abril) aplicando la siguiente expresión:

$$NT = (Fe - Fis)/Ife \quad (1)$$

en donde NT es el número total de tandeos que se deben distribuir, Fe es la fecha de espigamiento del trigo, Fis es la fecha de apertura del ciclo de siembras y Ife es el intervalo fijo de entrega de agua al usuario. Un total de 12 tandeos fue estimado al manejar un intervalo de entrega de 15 días.

El último riego se aplicó 15-20 días antes de la madurez fisiológica, y la trilla se inicia generalmente del 15-20 de mayo para la mayoría de las variedades de trigo cultivadas en la región.

El número máximo de lotes (NML) que se puede sembrar en forma escalonada está condicionado por los tandeos recibidos durante el ciclo de siembra, como lo muestra la expresión:

$$NML = (FCsp - FAst)/Ife \quad (2)$$

en donde FCsp = fecha cierre de siembra para variedades precoces, FAst = fecha apertura de siembra para variedades de ciclo largo y Ife sigue representando el intervalo entre tandeos. Al considerar un ciclo de siembras del 10. de noviembre al 20 de enero, de 90 días de duración, se encontró un NML = 6 lotes.

La superficie regada (A) por tandeo se asume invariable durante el ciclo del cultivo y queda definida en el riego de germinación. La superficie regada por tandeo está en función del gasto recibido (Q), horas de agua (H) y lámina aplicada (D) por el producto de acuerdo a la siguiente ecuación volumétrica:

$$A = QH/D \quad (3)$$

El número de lotes (NL) ajustado a un calendario de riegos preestablecido simplemente se calculó aplicando la expresión:

$$NL = NT/NR \quad (4)$$

en donde NR = número de riegos programados para el cultivo. Se observó que conforme disminuye el número de riegos, se incrementa el número de lotes en que se puede distribuir un mismo número de tandeos. Así por ejemplo: 12 tandeos pueden ser distribuidos en 6 lotes con 2 riegos c/u; en 4 lotes con 3 riegos c/u o en cualquier otra combinación discreta donde $NL \times NR = 12$.

Desarrollo del Patrón de Cultivos

El número de tandeos fue distribuido en 6, 4 y 3 lotes, sembrados escalonadamente en las fechas indicadas en la Figura 1, simulando su irrigación con 1, 2 y 3 riegos de auxilio (más el riego de germinación). También se ensayaron otras opciones de manejo del agua para fines comparativos pero no se muestra en la Figura 1.

Los calendarios con 1, 2 y 3 riegos de auxilio resultaron aceptables en experimentos anteriores realizados en 1982-83 y 1983-84 con variedades tardía y tardía/intermedia, respectivamente (Briones, 1985a; 1985b), además están basados en el conocimiento empírico de los productores plasmado en los marcos de referencia (Cueto *et al.*, 1983) y se ajustan aproximadamente bien a los intervalos fijos de entrega ("dulas").

En este análisis se asume que en cada tandeo se riega un tamaño uniforme de lote (1 ha) considerando el número de tandeos limitante del sistema productivo.

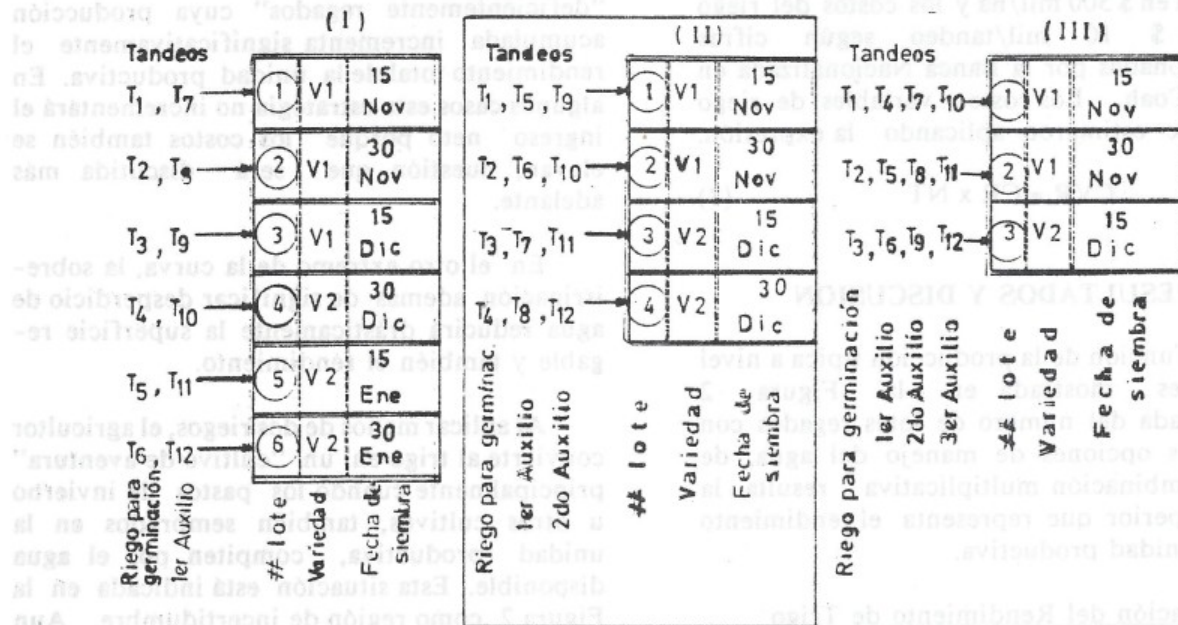


Figura 1. Patrones de cultivo desarrollados con la distribución simulada de 12 tandeos en: (I) 6 lotes con 2 riegos c/u, (II) 4 lotes con 3 riegos c/u, y (III) 3 lotes con 4 riegos c/u.

Ingreso Neto por Patrón de Cultivos

El ingreso neto (IN) por patrón fue estimado aplicando la siguiente ecuación de economía agrícola:

$$IN = VP - CFO - CVR \quad (5)$$

en donde, VP es el valor de la producción, CFO los costos fijos de operación y CVR los costos de variables del riego.

El valor de la producción (VP) es el precio de garantía (P) de la tonelada de trigo multiplicado por la producción total esperada en el patrón de cultivos y se obtuvo usando:

$$VP = P \sum_{i=1}^{NL} Y_i \quad (6)$$

en donde NL es el número de lotes sembrados en el patrón y Y_i es el rendimiento de grano esperado por lote. El precio de garantía del trigo se fijó en \$ 300 mil para 1988.

Los costos fijos de operación (CFO) se cotizaron en \$ 500 mil/ha y los costos del riego (CR) en \$ 10 mil/tandeo según cifras proporcionadas por la Banca Nacionalizada en Saltillo, Coah. Los costos variables de riego (CVR) se estimaron aplicando la expresión:

$$CVR = CR \times NT \quad (7)$$

RESULTADOS Y DISCUSION

La función de la producción típica a nivel parcela es mostrada en la Figura 2 acompañada del número de lotes regados con diferentes opciones de manejo del agua, de cuya combinación multiplicativa resulta la curva superior que representa el rendimiento a nivel unidad productiva.

Maximización del Rendimiento de Trigo

En la Figura 2 se aprecia que al suboptimizar el riego disminuye el rendimiento por parcela pero se incrementa el número de lotes

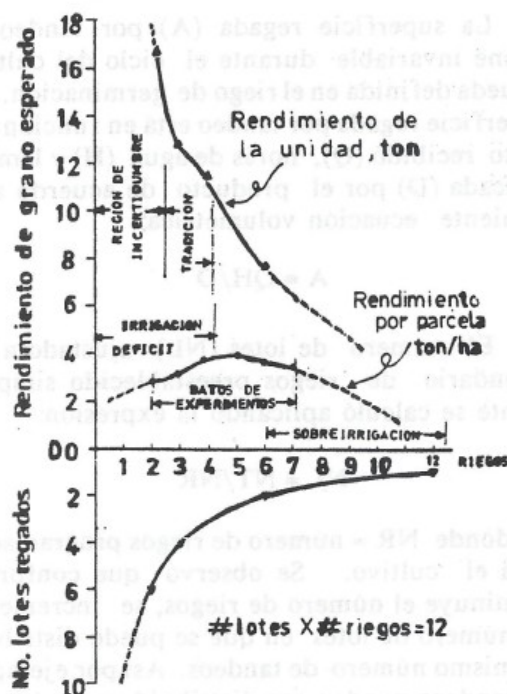


Figura 2. Maximización del rendimiento esperado a nivel unidad productiva por la irrigación deficit.

“deficientemente regados” cuya producción acumulada incrementa significativamente el rendimiento total de la unidad productiva. En algunos casos esta estrategia no incrementará el ingreso neto porque los costos también se elevan, cuestión que será discutida más adelante.

En el otro extremo de la curva, la sobreirrigación además de significar desperdicio de agua reducirá drásticamente la superficie regable y también el rendimiento.

Al aplicar menos de dos riegos, el agricultor convierte al trigo en un “cultivo de aventura” principalmente cuando los pastos de invierno u otros cultivos, también sembrados en la unidad productiva, compiten por el agua disponible. Esta situación está indicada en la Figura 2 como región de incertidumbre. Aun así puede esperarse algo de rendimiento puesto que el trigo puede sobrevivir en condiciones limitantes de humedad en el suelo (Trimmer, 1977).

La tendencia también indica que al aplicar cero riegos, la superficie sembrada de trigo e ilimitada y el rendimiento esperado en la unidad productiva se elevaría cruzando la región de incertidumbre, lo cual se lograría sólo en años lluviosos con precipitaciones no torrenciales mayores de 200 mm distribuidos durante el ciclo del cultivo, seguidos por un periodo relativamente seco durante la trilla.

En los patrones de cultivo I, II y III el rendimiento por parcela multiplicado por el número de parcelas manejadas con 1, 2 y 3 riegos de auxilio proporcionó el rendimiento a nivel unidad productiva que ascendió a: 17.1, 13.8 y 12.3 ton ha⁻¹, respectivamente.

Productividad de los Patrones de Cultivo

Los resultados indicaron que al distribuir 12 tandeos en menos de dos lotes se sobre-irriga el cultivo reduciéndose el rendimiento por parcela, el rendimiento por unidad productiva, y por consecuencia el ingreso neto o productividad como se puede apreciar en la Figura 3.

Cuando el mismo número de tandeos es distribuido en 3, 4, 5 ó 6 lotes, el ingreso neto esperado cae dentro de un rombo de productividad con lados casi paralelos, lo cual indica que los patrones de cultivo I, II y III aparentemente prometen el mismo nivel de productividad. Sin embargo, en años lluviosos

se puede incrementar la productividad del patrón I.

El rendimiento/parcela/variedad, esperado dentro de cada patrón de cultivo, se muestra en el Cuadro 1 que contiene una parte del análisis tabular tipo presupuesto aplicado para comprender la tendencia mostrada en las Figuras 2 y 3. El mismo cuadro también desglosa el número de lotes/variedad,

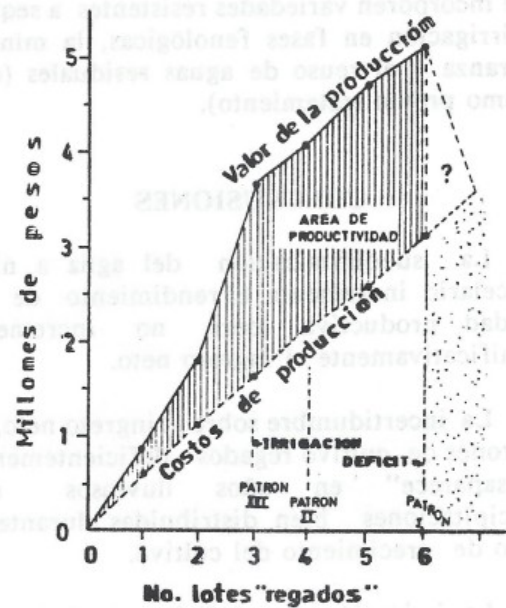


Figura 3. Productividad esperada con la distribución de 12 tandeos en diferente número de parcelas.

Cuadro 1. Rendimiento e ingreso neto esperado por patrón de cultivos irrigado por tandeos. Norte de Coahuila.

Patrón	Variiedad	Rendimiento ton ha ⁻¹	# Lotes 1 ha c/u	Rendimiento por patrón	IN miles de pesos
I	Nadadores	2.76	3	8.28	2,013
	Nacozari	2.84	3	8.82	
II	Nadadores	3.12	2	6.26	2,026
	Nacozari	3.78	2	7.56	
III	Nadadores	3.86	2	7.73	2,053
	Nacozari	4.52	1	4.52	

rendimiento total por patrón e ingreso neto esperado.

Por otra parte, las actividades no agrícolas relacionadas con el transporte, almacenamiento, comercialización e industrialización del trigo generarían más divisas y empleo al manejar y procesar la producción del patrón I.

También con el objeto de ahorrar agua se sugiere desarrollar nuevos patrones de cultivo que incorporen variedades resistentes a sequía, la irrigación en fases fenológicas, la mínima labranza y el reuso de aguas residuales (esto último previo tratamiento).

CONCLUSIONES

La suboptimización del agua a nivel parcelario incrementa el rendimiento de la unidad productiva pero no incrementa significativamente el ingreso neto.

La incertidumbre sobre el ingreso neto, en patrones de cultivo regados deficientemente, "desaparece" en años lluviosos con precipitaciones bien distribuidas durante el ciclo de crecimiento del cultivo.

La irrigación con déficit controlado es la única estrategia, dentro del marco estudiado, que promete cumplir con la meta del agricultor (ganar más), con la meta del irrigador (conservar el agua) y con la meta social (producir más alimentos básicos).

LITERATURA CITADA

AMIR, I., Y. FRIEDMAN, S. SHARON, y A. BEN-DAVID. 1976. A combined model for operating irrigated agricultural systems under uncertainties. *Transactions of the ASAE* 19(2): 299-304.

ARLOSOROFF, S. 1978. Sizing up irrigation development. *Irrigation age* 13(2): 70.

BRIONES S., G. 1985a. Efecto de la tensión de humedad en el suelo sobre el comportamiento del trigo cv Nadadores, pp. 56. *In: Programa General y Resúmenes XVIII Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo. La Paz, BCS.*

BRIONES S., G. 1985b. Irrigación aplicada antes y después de la hoja bandera en trigo cv Nacozari, pp. 56. *In: Programa General y Resúmenes XVIII Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo. La Paz, BCS.*

CUETO W., J.A., R. GALINDO P. y G. BRIONES S. 1983. Marco de referencia técnico-agronómico del trigo, pp. 381. *In: Avances de investigación agrícola en zonas de riego y temporal. CIAN 83(8).*

PLEBAN, S., J.W. LABADIE y D.F. HEERMAN. 1983. Optimal short term irrigation schedules. *Transactions of the ASAE* 26(1): 141-147.

RON, R. 1978. Computers and San Joaquín Irrigators. *Irrigation age* 13(2): 31.

TRIMMER, W. 1977. Timeliness, not quantity, most important in wheat irrigation. *Irrigation age* 11(6): 90, 94.

US DEPARTMENT OF AGRICULTURE. 1979. Irrigation with limited water and energy. *Irrigation age* 13(5): 28.

VALMONT INDUSTRIES, Inc. 1980. Everything you need to know about cutting irrigation energy costs. Printed in USA. 13 YP5 AD 10044: 10

WESTERHOLT, S. 1980. Don't waste water: Know the system, plant and soil. *Irrigation age* 14(7): 92-93.

YARON, D, A. DINAR y S. MEYERS. 1978. Irrigation scheduling- theoretical approach and application problems. *Water Resources Management* 1: 17-31.

ESPECIFICACION DE PROBLEMAS IDENTIFICADOS EN UN DIAGNOSTICO AGRICOLA: CASO DEL ABATIMIENTO DEL ACUIFERO

Specifications of Problems Identified in Agricultural Diagnosis: Case of the Lowering of the Ground water Level

Francisco G. Echavarría Ch.

CIFAP-Zac. Apartado Postal 18, 98500 Calera de Victor Rosales, Zac.

Palabras clave: Problemas de los productores, Investigación en el predio, Vinculación, Uso y manejo del agua, Geohidrología.

Index words: Problems of small farmers, On site farm research, Entailment, Use and handling of water, Geohydrology.

RESUMEN

En un diagnóstico agrícola realizado en el ejido "El Bordo", Guadalupe, Zacatecas, se identificó el problema de abatimiento del acuífero, pero la información que se obtuvo respecto del mismo era general. Debido a esto se realizó la especificación del mismo, para contar con elementos que permitieran la elaboración de un proyecto de investigación en la región.

La información a obtener se dividió en dos aspectos: (a) la que se refiere al uso y manejo del agua, y (b) la que involucra las condiciones geohidrológicas de la cuenca donde se localiza el área de estudio. Para conocer el primer aspecto se hicieron 21 entrevistas a productores usuarios. Dichas entrevistas comprendieron cuatro partes: extracción,

almacenamiento, conducción y aplicación. Las entrevistas se complementaron con información de la Comisión Federal de Electricidad. El segundo aspecto (condiciones geohidrológicas de la cuenca), se conoció a partir de estudios realizados por el Departamento de Aprovechamientos Hidráulicos de la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos. La información se analizó usando regresiones y estadística descriptiva.

Los resultados permiten concluir que: (a) el abatimiento es mayor en las áreas más bajas de la cuenca, lo cual ha provocado modificaciones en el diseño original de extracción y como consecuencia cada año es más costoso extraer agua, y (b) existen fuertes pérdidas en almacenamiento y conducción, así como una gran variación en el número de riegos en los cultivos principales. Se plantea la elaboración de un programa de extensión e investigación que permita dar a conocer las opciones tecnológicas disponibles y generar otras con las que se pueda incrementar la eficiencia en el uso del agua.

SUMMARY

In an agricultural diagnosis made in the ejido "El Bordo", Guadalupe, Zacatecas the lowering of the ground water level was identified as a problem. The information

Recibido 4-89.

obtained on the problem was general; however, in order to have elements to permit the elaboration of a research project in the region specifics were identified.

The information obtained was divided into two aspects: a) the use and handling of water, and b) the geohydrologic conditions of the watershed in the area studied. Twenty-one interviews were conducted with small farmers in order to gather information on the use and management of water. The interview protocol was divided into four sections: extraction, storage, conduction, and application. The interviews were complimented with information from the federal commission of electricity. The geohydrologic conditions of the watershed were obtained from studies of the department of hydraulic utilization of the Secretariat of Agriculture and Hydraulic Resources. The information was analyzed using regression and descriptive statistics.

The results indicate that the lowering of water in the subsoil is greater in the lower altitude areas of the watershed. The lowering ground water level has caused modifications in the original designs for extraction. As a result extraction costs increase each year, and there are significant losses in storage and conduction as well as great variation in the number of times main crops are irrigated.

Two courses of action are proposed at this time, one is the elaboration of an extension program to assist in agriculture. The other is a project of research to increase the efficiency of water usage.

INTRODUCCION

En 1987 se realizó un diagnóstico agrícola en el ejido "El Bordo", del estado de Zacatecas. Dicho diagnóstico agrícola comprende las etapas de selección de área de estudio, selección de unidad de producción e identificación de problemas. Una vez identificados los problemas, se procede a especificar las causas que los originan. Un problema detectado fue el abatimiento del

acuífero. La información obtenida indicó que la reducción del nivel estático es de 0.5 a 1.5 m/año. Como consecuencia, la mayoría de los productores había aumentado la profundidad de extracción del agua de 9 a 18 m (Escobedo y Echavarría, 1988); de continuar con este ritmo se corre el riesgo de llegar a hacer incosteable la extracción e incluso agotar el recurso.

Como la información disponible sobre el problema de abatimiento solo indicaba como causa principal la sobreexplotación que se hace del acuifero, se decidió llevar a cabo un estudio cuyo objetivo fue conocer a detalle los elementos en el proceso de uso y manejo del agua, así como las condiciones geohidrológicas de la cuenca. Para ello, en el mismo ejido donde se trabajó antes y se identificó el problema general, se llevó a cabo la fase de especificación del problema, comprendida dentro del proceso que involucra un diagnóstico. Esto permitirá contar con los elementos suficientes para fundamentar la búsqueda de opciones de solución al problema identificado.

REVISION DE LITERATURA

Existe diversa información sobre la etapa de especificación de un problema, en el proceso de diagnóstico. Villarreal y Byerly (1984) mencionan que para especificar los problemas se han usado cuatro herramientas de trabajo en algunas regiones del país: (1) conducción de experimentos 2^k ($K=n^\circ$ de variables) para discriminar entre una serie de posibles causas del problema; (2) utilización de una cascada de objetivos, como una forma de verificar que se han tomado en cuenta todas las variables posibles de una área de estudio o especialidad y así plantear hipótesis de posibles causas del problema; (3) contar con un sistema de información sintomatológica de anormalidad y de normalidad para los principales cultivos del área de estudio en cada una de sus fases de desarrollo; (4) establecer modelos teóricos en los que se puedan representar esquemáticamente las relaciones relevantes de diagnóstico, identificar en éste variables de nivel, de flujo y relación, así

mismo, indicar los valores que se pueden asignar a éstos en determinada condición. Otros autores sugieren la obtención de información por medio de entrevistas para especificar el problema. Byerlee *et al.* (1980) indican que después de establecer un perfil descriptivo de los agricultores y sus prácticas de cultivo, sugieren complementar la información con cierto número de encuestas especializadas. Entre otras se encuentran (a) entrevistas informales, (b) entrevistas en profundidad aunque informales. También Zuloaga (1983) menciona que, a fin de permitir que los agricultores señalarán su problema, se llevó a cabo un estudio de campo con el uso de dos técnicas: entrevistas y observación participativa. Sin embargo, Tripp (1982), Martínez (1981) y Moscardi *et al.* (1983) indican que al realizar experimentos en terrenos de los productores existe oportunidad de especificar los problemas menos claros.

MATERIALES Y METODOS

El área de estudio forma parte de la cuenca Chupaderos-Villa de Cos, localizada en el extremo oriental del estado de Zacatecas, entre las coordenadas 22° 42' 00" y 23° 13' 00" de latitud norte y entre las coordenadas 102° 13' 00" y 102° 33' 00" de longitud oeste. Su superficie es de 1316 km², con una planicie de 1075 km², que es su área de captación. La altura sobre el nivel del mar va de 2700 en el suroeste de la cuenca a 1950 en el noreste.

El ejido El Bordo se ubica entre los paralelos 23° 00' 30" y 22° 57' 30" de latitud norte y los meridianos 102° 25' 00" y 102° 20' 30" de longitud oeste; casi al centro de la cuenca Chupaderos-Villa de Cos. La superficie total del ejido es de 61.84 km² y la altura sobre el nivel del mar va de 2100 en el sur del ejido a 2025 en el noreste del mismo.

El trabajo se realizó en el verano de 1988, como parte de las actividades de planeación de la investigación, en el Centro de Investigaciones Forestales y Agropecuarias de Zacatecas.

La información se obtuvo mediante entrevistas a productores y dependencias relacionadas con el problema de abatimiento del manto acuífero. Se dividió en dos aspectos: el que se refiere al uso y manejo del agua y el que involucra las condiciones geohidrológicas de la cuenca donde se ubica el área de estudio.

Para conocer el uso y manejo del agua se diseñó una entrevista que abarcó todo el proceso de riego. Se separó en cuatro partes: extracción, almacenamiento, conducción y aplicación.

La primera parte es la extracción. Incluye preguntas sobre el diámetro que tiene el tubo de salida en pulgadas, y la cantidad de pulgadas ocupadas por el agua al salir. Relacionando estos valores se obtuvo una estimación del gasto o caudal. Incluye además preguntas sobre la profundidad de bombeo y la potencia del motor. Se complementó la información sobre extracción con datos proporcionados por la Comisión Federal de Electricidad, sobre el consumo anual de kilowatts-hora (kwh), costos y período de extracción de las bombas del área de estudio. La segunda parte se refiere al almacenamiento. Estos son pequeños estanques de tierra donde acumulan el agua por la noche para regar únicamente durante el día. Esta parte incluye preguntas sobre la estructura y condiciones de las obras de almacenamiento. La tercera parte es la conducción, que se refiere al traslado de agua desde el estanque hasta la parcela, utilizando canales de tierra. Sobre esto se preguntó por las condiciones de los canales, su estructura y las distancias que recorren de la obra de almacenamiento a la parcela. En la cuarta parte se preguntó sobre la aplicación del agua, considerada en términos de números de riegos que se realizan en los dos cultivos principales: frijol y chile. Se incluyeron otras preguntas generales como el número de usuarios cuando se trató de un pozo colectivo y la cantidad de hectáreas que se riega.

Con los datos obtenidos se hicieron estimaciones sobre la extracción total anual del agua, el consumo por hectárea y el costo por metro cúbico.

El tamaño de muestra se determinó con la fórmula

$$N = \frac{t^2 s^2}{d^2}$$

donde:

N = tamaño de muestra

t^2 = valores de Student al 5% de probabilidad

s^2 = varianza de cada variable

d^2 = precisión deseada

La varianza de cada variable (cada uno de los elementos de la entrevista) se conoció al realizar un premuestreo de 21 entrevistas. El tamaño de muestra necesario para conocer cada variable no superó al número inicial de entrevistas. El tamaño de muestra calculado más cercano al número de entrevistas hechas en el premuestreo fue de 19, necesario para conocer la variable: área por pozo.

Se realizó un análisis de la información obtenida. La etapa de extracción se analizó con base en su eficiencia, utilizando la fórmula:

$$R = \frac{Q h}{75 P}$$

donde:

R = rendimiento (eficiencia) en porcentaje

Q = gasto o caudal en litros por segundo

h = profundidad de bombeo en metros

75 = constante del valor de un caballo de vapor en kgm/seg.

P = potencia suministrada en caballos de vapor.

Una vez conocida, se separó a los productores con eficiencias mayores o iguales al 40% de acuerdo al criterio de Israelsen y Hansen (1965). De cada grupo de pozos se obtuvieron ecuaciones de regresión en las que se relacionaron todos los elementos que afectan la extracción contra el gasto o caudal como variable dependiente. Se seleccionaron aquellas regresiones que presentaron valores

altos de r (coeficiente de correlación), y valores mayores al 5% de probabilidad de la distribución t y F.

Las variables que mejor se relacionaron fueron la potencia del motor, profundidad de bombeo y cantidad de agua extraída. Se comparó la regresión del grupo más eficiente contra el grupo menor eficiente para observar la importancia de cada una de las variables en la extracción.

Las etapas de almacenamiento, conducciones y aplicación fueron analizadas utilizando estadística descriptiva.

La información sobre las condiciones geohidrológicas se obtuvo del Departamento de Aprovechamientos Hidráulicos de la delegación de la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos en Zacatecas. Esta consistió en documentos de trabajo (SARH, 1973, 1981, 1988), datos históricos de piezometría y planos de evolución del abatimiento de 1983 a 1987. Con esta información fue posible conocer la extracción total de la cuenca, la recarga del acuífero, las diferencias de abatimiento dentro de la cuenca, y el área de mayor concentración de aprovechamiento, así como el área más afectada. Con la información piezométrica se realizó un análisis de 12 pozos representativos utilizando regresión simple, relacionando la elevación del nivel estático con el tiempo, esto con la finalidad de conocer la tendencia del nivel estático y hacer una proyección del incremento del abatimiento.

RESULTADOS

La cuenca Chupaderos-Villa de Cos tiene una superficie de 1316 km², con una planicie de 1075 km². La altura sobre el nivel del mar va de 2700 en el suroeste de la cuenca a 1950 en el noreste. En el fondo de la cuenca existe una falla normal¹⁾ que la atraviesa por su parte

1) Las fallas se clasifican atendiendo a su inclinación. Una falla normal es aquella en la que el plano de falla se inclina hacia el labio hundido.

media, se ubica entre las curvas de nivel que marcan 2055 y 2060 msnm. De esta forma la cuenca queda dividida en dos zonas, la zona sur de la cuenca que es una área anterior a la falla, y la zona norte de la cuenca que es el área posterior a la falla. La zona sur contiene un acuífero de espesor no mayor de 60 m; la zona norte contiene un acuífero de al menos 150 metros. Dentro del área existen 866 aprovechamientos, de éstos se encuentran aproximadamente 500 en la zona norte y el resto en la parte sur, se extraen un total de 110 millones de metros cúbicos anuales. El nivel estático va de 10 a 70 m de profundidad hasta 1986 (SARH, 1988).

Toda la cuenca recibe una recarga total de 40 millones de metros cúbicos anuales (SARH, 1988). La diferencia entre la que se extrae y la que se recarga (70 millones de metros cúbicos), ha provocado el abatimiento de los niveles estáticos de la cuenca. El abatimiento de 1973 a 1986 es de alrededor de 5 m en la zona sur y en la zona norte hasta de 30 metros.

Casi en el centro de la cuenca se localiza el ejido El Bordo. Este ejido tiene una superficie de 61.84 km², la altura sobre el nivel del mar va de 2100 en el sur del ejido a 2025 en el noreste del mismo. Dentro del área se ubican 23 pozos y 39 norias; todos los pozos son colectivos (de 3 a 8 productores). La profundidad de bombeo va de 30 a 100 m. Los gastos van de 25 a 64 litros por segundo. Las norias son de un productor o dos, su profundidad de bombeo va de 14 a 50 m y sus gastos son de 16 litros por segundo o menos. Entre pozos y norias de El Bordo se extraen aproximadamente 14 millones de metros cúbicos anuales (12.7% del total que se extrae en la cuenca).

La diferencia de espesor del acuífero, consecuencia de la falla mencionada, se presenta precisamente en el área de estudio, en la zona sur del ejido (zona sur de la cuenca) solo existen pozos poco profundos (norias) y en la zona norte del ejido (zona norte de la cuenca) existen solo pozos colectivos.

El abatimiento observado a través de 13 años, ha sido diferente en las dos zonas (Figura

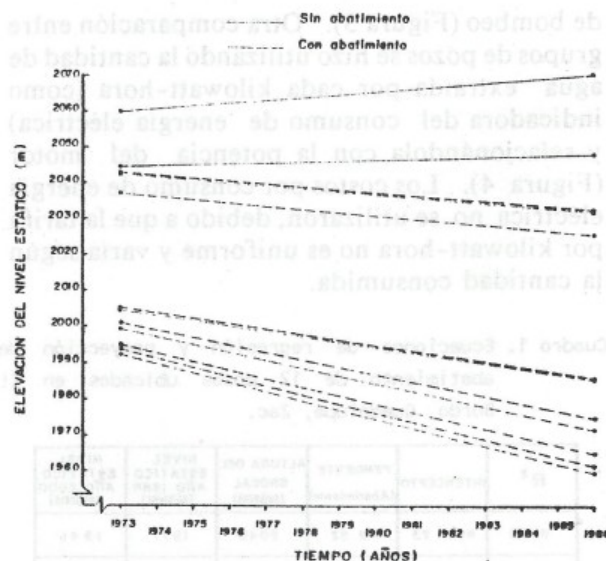


Figura 1. Evolución del nivel estático de 1973-1976 de 12 pozos estudiados en El Bordo, Guadalupe, Zac.

1). El abatimiento promedio en la zona norte es de 2.03 m anuales, mientras que en la zona sur el promedio es de 0.44 metros. Esto como consecuencia de la alta concentración de pozos que existe en la zona norte, lo cual es notorio en los planos de evolución de abatimiento proporcionados por el Departamento de Aprovechamientos Hidráulicos, donde se observa un cono donde el abatimiento es mayor y cuyo epicentro se localiza en los bordes del área de estudio y en los ejidos aledaños de la parte norte. Una proyección de abatimiento mediante regresión lineal simple (asumiendo comportamiento lineal) permite observar la tendencia que presentan los pozos estudiados (Cuadro 1), mostrando disminuciones de nivel de más de 30 m en los próximos doce años.

En cuanto al manejo del agua, la eficiencia de extracción (relación entre la potencia suministrada y el trabajo realizado) va de 7 a 82%, predominando la eficiencia que va del 25 al 44% y que representa al 42% de los pozos. La separación en grupos (eficiencias mayores o iguales a 40% y menores a 40%) permitió comparar los grupos de pozos relacionando elementos que influyen directamente en la cantidad de agua extraída, como son la potencia del motor (Figura 2) y la profundidad

de bombeo (Figura 3). Otra comparación entre grupos de pozos se hizo utilizando la cantidad de agua extraída por cada kilowatt-hora (como indicadora del consumo de energía eléctrica) y relacionándola con la potencia del motor (Figura 4). Los costos por consumo de energía eléctrica no se utilizaron, debido a que la tarifa por kilowatt-hora no es uniforme y varía según la cantidad consumida.

Cuadro 1. Ecuaciones de regresión y proyección de abatimiento de 12 pozos ubicados en El Bordo, Guadalupe, Zac.

R ²	INTERCEPTO	PENDIENTE (Abatimiento)	ALTURA DEL BROCAL (MSNM)	NIVEL ESTÁTICO AÑO 1988 (MSNM)	NIVEL ESTÁTICO AÑO 2000 (MSNM)
0.98	6981.23	-2.52	2040	1971	1941
0.98	6983.23	-2.52	2030	1973	1943
0.98	6824.46	-2.44	2029	1973	1944
0.98	5565.93	-1.80	2047	1987	1965
0.97	5861.39	-1.95	2050	1984	1961
0.94	5013.14	-1.52	2053	1991	1973
0.94	4891.79	-1.46	2052	1989	1971
0.82	3724.73	-0.85	2055	2034	2024
0.91	2814.41	-0.39	2068	2041	2034
0.91	2814.41	-0.39	2068	2041	2034
0.84	1304.30	+0.37	2060	2039	2044
0.99	445.31	+0.81	2075	2055	2065

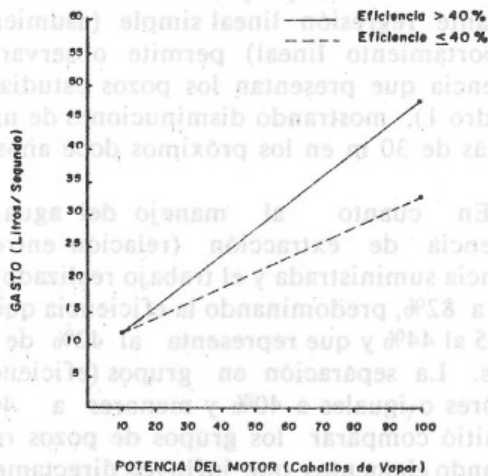


Figura 2. Diferencias de extracción de agua de 12 pozos ubicados en El Bordo, Guadalupe, Zac.

Las obras de almacenamiento (estanques) en su totalidad son de tierra. Un 33% de los entrevistados dijo tener problemas de infiltración en las obras.

Para conducir el agua, todos los productores utilizan canales de tierra. Las distancias de conducción van de 60 a 1600 m, sin embargo, en un 46% de los pozos las distancias van de 461 a 1222 m (Figura 5).

La aplicación del riego es muy variable en los dos cultivos principales (frijol y chile), el número de riegos en frijol va de 2 a 5, la mayoría (42% de los pozos) aplica cuatro riegos (Figura 6). En chile los riegos aplicados van de 2 a 11 predominando los que dan de 6 a 7, que son

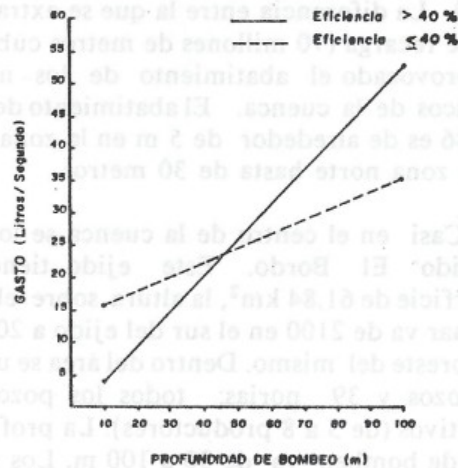


Figura 3. Diferencias de extracción de agua de 12 pozos ubicados en El Bordo, Guadalupe, Zac.

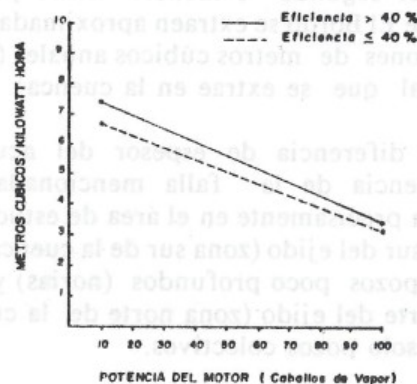


Figura 4. Diferencias de extracción de agua de 12 pozos ubicados en El Bordo, Guadalupe, Zac.

un 42% y de 4 a 5 al 38% (Figura 7). Esta misma variación se refleja en el consumo total de agua por hectárea, esta va de 4.2 a 22.8 miles de metros cúbicos por hectárea, donde se observa la diferencia de consumos entre pozos y norias (Figuras 8 y 9).

DISCUSION

El déficit entre lo que se extrae y lo que se recarga ha provocado diferentes efectos de abatimiento del nivel estático. Estas diferencias permiten suponer que la comunicación entre ambos acuíferos es limitada, todas las obras localizadas abajo de los 2055 msnm presentan abatimiento de más de un metro

anual. En cambio las que se localizan más arriba de la cota mencionada, llegan a presentar incrementos de nivel (Figura 10). Asimismo la proyección a futuro sobre el posible abatimiento muestra la tendencia que éste presenta (30 m en 12 años) y si se hace referencia a la información existente sobre la posible profundidad del acuífero (60 m al sur y posiblemente 150 m al norte de la cuenca) nos da una idea de las posibilidades de que el acuífero se agote en poco tiempo.

Esto hace notar la importancia de un conocimiento más preciso de las características

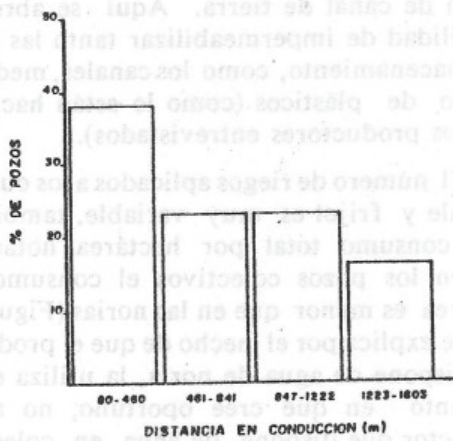


Figura 5. Distancias de conducción de agua en los pozos estudiados en El Bordo, Guadalupe, Zac.

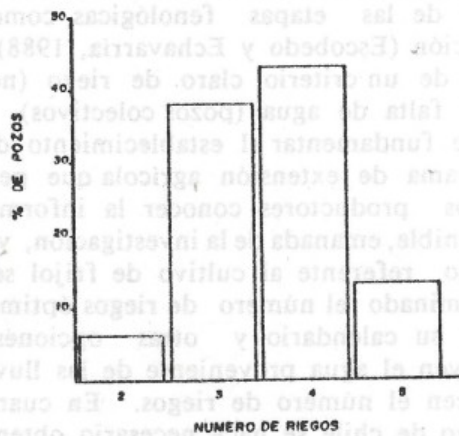


Figura 6. Número de riegos que se aplican al frijol en El Bordo, Guadalupe, Zac.

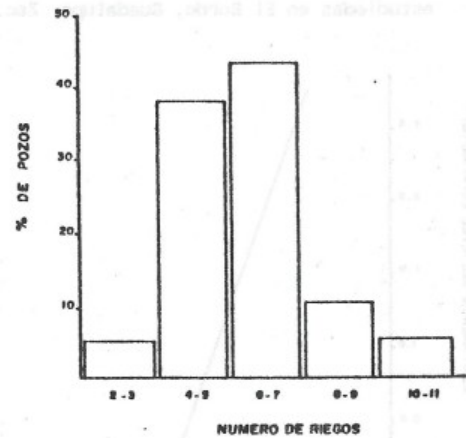


Figura 7. Número de riegos aplicados al chile en El Bordo, Guadalupe, Zac.

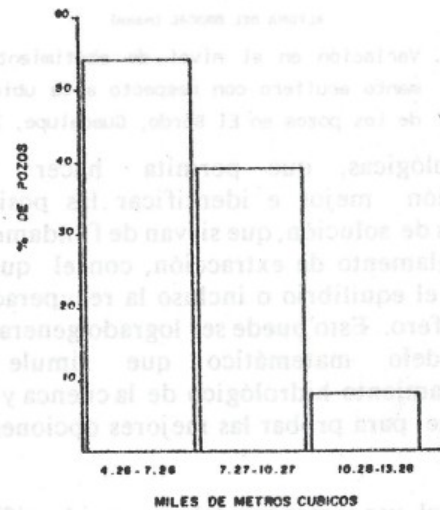


Figura 8. Consumo de agua por hectárea en los pozos colectivos estudiados en El Bordo, Guadalupe, Zac.

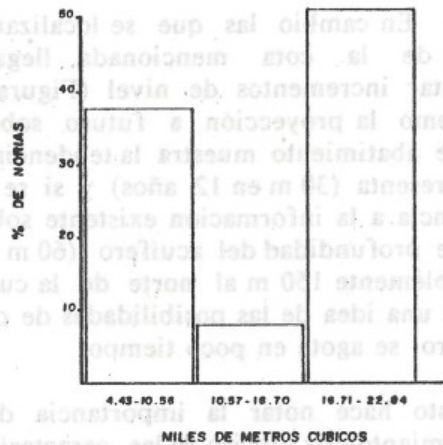


Figura 9. Consumo de agua por hectárea en las norias estudiadas en El Bordo, Guadalupe, Zac.

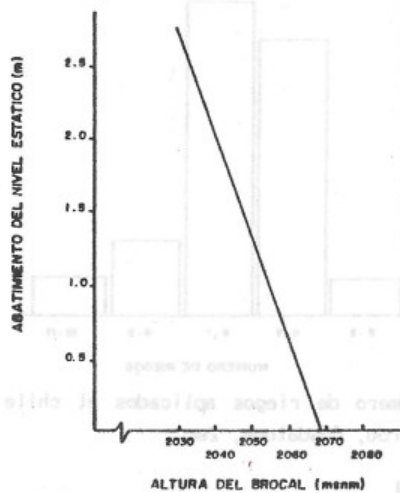


Figura 10. Variación en el nivel de abatimiento del manto acuífero con respecto a la ubicación de los pozos en El Bordo, Guadalupe, Zac.

geohidrológicas, que permita hacer una proyección mejor e identificar las posibles opciones de solución, que sirvan de fundamento a un reglamento de extracción, con el que se busque el equilibrio o incluso la recuperación del acuífero. Esto puede ser logrado generando un modelo matemático que simule el comportamiento hidrológico de la cuenca y que se utilice para probar las mejores opciones de solución.

En el uso y manejo del agua se identifican algunas causas de ineficiencia, siendo la principal la modificación que sufrieron los sistemas de bombeo en el momento en que

cambiaron las condiciones originales de diseño. En la Figura 2 se muestran los grupos de productores que han sufrido el efecto del abatimiento y que extraen cada vez menos agua, comparados con los que han incrementado la potencia del motor. En la Figura 3 se muestra el grupo de productores que solo aumenta la profundidad de bombeo sin aumentar la potencia del motor (Escobedo y Echavarría, 1988). En la Figura 4 se observa como obtiene menos agua, se consume mayor cantidad de energía eléctrica y cada vez cuesta más.

Existen pérdidas por infiltración en un 33% de las obras de almacenamiento (estanques). La conducción del agua es a grandes distancias. Según Flores (1985) se registrarán pérdidas hasta de 3.4 litros por segundo en cada 100 m de canal de tierra. Aquí se abre la posibilidad de impermeabilizar tanto las obras de almacenamiento, como los canales, mediante el uso de plásticos (como lo están haciendo algunos productores entrevistados).

El número de riegos aplicados a los cultivos de chile y frijol es muy variable, también lo es el consumo total por hectárea, notándose que en los pozos colectivos el consumo por hectárea es menor que en las norias (Figura 9). Esto se explica por el hecho de que el productor que dispone de agua de noria, la utiliza en el momento en que cree oportuno; no así el productor que dispone de agua en colectivo, ya que tiene que ajustarse a los turnos preestablecidos y no a las necesidades del cultivo. Como consecuencia, se aplican riegos fuera de las etapas fenológicas como la floración (Escobedo y Echavarría, 1988), por falta de un criterio claro de riego (norias) o por falta de agua (pozos colectivos). Esto puede fundamentar el establecimiento de un programa de extensión agrícola que permita a los productores conocer la información disponible, emanada de la investigación, ya que en lo referente al cultivo de frijol se ha determinado el número de riegos óptimo, así como su calendario y otras opciones que incluyen el agua proveniente de las lluvias y reducen el número de riegos. En cuanto al cultivo de chile se hace necesario obtener la información para esa región, que permita optimizar el uso y manejo del agua.

CONCLUSIONES

1. El problema de abatimiento del manto freático en el ejido El Bordo detectado en el diagnóstico del presente trabajo, afecta mayormente a las obras de extracción ubicadas más abajo de 2050 msnm, que es donde existe la mayor concentración de aprovechamientos.
2. El problema de abatimiento rebasa los límites del ejido El Bordo, futuros trabajos de investigación deben incluir parcelas de los ejidos cercanos.
3. Se hace necesario tener una proyección más precisa sobre la evolución del acuífero, para fundamentar la reglamentación de la extracción. Un modelo de simulación de las características hidrológicas de la cuenca podría ser la herramienta adecuada.
4. Existen bajos rendimientos de extracción de agua por modificaciones a las condiciones originales de diseño; cada año cuesta más caro el metro cúbico.
5. Existen fuertes pérdidas de agua por infiltración en almacenamiento y por conducción a grandes distancias.
6. El número de riegos es muy variable en los cultivos de frijol y chile que son los más importantes. Es necesario difundir la información disponible sobre el cultivo de frijol, así como generar información que permita incrementar la eficiencia en el uso y manejo del agua en el cultivo de chile.

LITERATURA CITADA

BYERLEE D., L. HARRINGTON y P. MARKO. 1980. Prácticas de los agricultores: Problemas de producción y oportunidades para la investigación de cebada en el Valle de Calpulalpan/Apan. México. CIMMYT. Documento de trabajo 80/5.

ESCOBEDO R., S. y F.G. ECHAVARRIA CH. 1988. Diagnóstico agrícola: Una alternativa para planear la investigación. Memorias del XXI Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo. p. 324. Cd. Juárez, Chih. México.

FLORES L., L.F. 1985. Avances de investigación sobre uso y manejo del agua en regiones con acuíferos sobreexplotados. In: Memorias del II ciclo internacional de conferencias "Aprovechamientos de aguas subterráneas en la agricultura". Marzo 13-14 de 1985. Torreón, Coah. México.

ISRAELSEN Q., W. y V.E. HANSEN. 1965. Principios y aplicaciones del riego. p. 55-57. Editorial Reverte, Barcelona, España.

MARTINEZ J.C. 1981. Desarrollando tecnología apropiada a las circunstancias del productor: Enfoque restringido de sistemas del productor. Documento de trabajo. CIMMYT. México.

MOSCARDI E., V.H. CARDOSO, P. ESPINOSA, R. SOLIS y E. ZAMBRANO. 1983. Creando un programa de investigación a nivel finca en el Ecuador. México. CIMMYT. Documento de trabajo 01/83.

SARH. 1973. Estudio geohidrológico preliminar de la zona Chupaderos-Villa de Cos. Dirección de Geohidrología y de Zonas Áridas. Documento de trabajo. Zacatecas, Zac.

SARH. 1981. Informe sobre actividades de carácter geohidrológico de las zonas de Chupaderos-Villa de Cos y la Blanca, Zac. Dirección de Geohidrología y de Zonas Áridas. Documento de trabajo. Zacatecas, Zac.

SARH. 1988. Resumen de las condiciones geohidrológicas generales del estado de Zacatecas. Documento de trabajo. Zacatecas, Zac.

TRIPP, R. 1982. Recolección de datos, selección de sitios y participación del agricultor. México. CIMMYT. Econ. Documento de trabajo. 01/82.

VILLARREAL F., E. y K.F. BYERLY M. 1984. Metodología para la planeación de la investigación agrícola a partir de problemas de la realidad. SARH. INIA. Unidad de planeación de la investigación.

ZULOAGA A., A. 1983. La participación de los agricultores de subsistencia en la planeación del desarrollo agrícola, una aproximación coorientacional. In: Experiencias metodológicas de la difusión de tecnología en el INIA. SARH. INIA. MEXICO. D.F. 1985.

FLORIS J., L.F. 1983. Avances de investigación sobre uso y manejo del agua en regiones con acuíferos sobreexplotados. In: Memorias del II ciclo internacional de conferencias "Aprovechamientos de aguas subterráneas en la agricultura". Marzo 13-14 de 1983. Torreón, Coah. México.

El problema de abastecimiento de agua en el Estado de México

El problema de abastecimiento de agua en el Estado de México. In: Experiencias metodológicas de la difusión de tecnología en el INIA. SARH. INIA. MEXICO. D.F. 1985.

ISRAELSEN O., W. y V.E. JANSSEN. 1983. Principios y aplicaciones del riego. p. 22-27. Editorial Reverte, Barcelona, España.

Se hace necesario tener una proyección más precisa sobre la evolución del acuífero para fundamentar la legislación de la extracción. Un modelo de simulación de las características hidrológicas de la cuenca podría ser el instrumento adecuado.

MARTINEZ J.C. 1981. Desarrollando tecnología apropiada a las circunstancias del productor. Enfoque restringido de sistemas del productor. Documento de trabajo CIMMYT. México.

Existen bajos rendimientos de extracción de agua por modificaciones a las condiciones originales de diseño; cada año cuesta más caro el metro cúbico.

MOSCARDI E., V.H. CARDOSO, E. ESPINOSA, R. SOLÍS y E. ZAMBRANO. 1983. Creando un programa de investigación a nivel finca en el Ecuador. México. CIMMYT. Documento de trabajo 01/83.

Existen fuentes perdidas de agua por infiltración en almacenamiento y por conducción a grandes distancias.

SARH. 1973. Estudio geohidrológico preliminar de la zona Chapaberos-Villa de Cos. Dirección de Geohidrología y de Zonas Áridas. Documento de trabajo. Zacatecas, Zac.

El número de riegos es muy variable en los cultivos de maíz y trigo que son los más importantes. Es necesario difundir la información disponible sobre el cultivo de maíz, así como generar información que permita incrementar la eficiencia en el uso y manejo del agua en el cultivo de trigo.

SARH. 1981. Informe sobre actividades de carácter geohidrológico de las zonas de Chapaberos-Villa de Cos y la Blanca. Zac. Dirección de Geohidrología y de Zonas Áridas. Documento de trabajo. Zacatecas, Zac.

SARH. 1988. Resumen de las condiciones geohidrológicas generales del estado de Zacatecas. Documento de trabajo. Zacatecas, Zac.

LITERATURA CITADA

TRIPP, R. 1982. Recolección de datos, selección de sitios y participación del agricultor. México. CIMMYT. Econ. Documento de trabajo. D/82.

BYERLY, D., J. HARRINGTON y P. MARCO. 1980. Prácticas de los agricultores. Problemas de producción y oportunidades para la investigación de cebada en el Valle de Chapaberos. Agua-México. CIMMYT. Documento de trabajo. D/80.

COMPORTAMIENTO DEL CARBOFURAN EN DOS SUELOS AGRICOLAS DRENADOS. ESTUDIOS EN EL CAMPO Y EN EL LABORATORIO

Carbofuran Behavior in Two Drained Agricultural Soils. Field and Laboratory Studies.

J. Achik y M. Schiavon

Universidad de Guanajuato, Escuela de Agronomía y Zootecnia, Apdo. Postal 311,
36500 Irapuato, Gto, México y INPL-ENSAIA, 2 Av. de la Foret de Haye,
54500 Nancy, Francia.

Palabras clave: Plaguicidas, Disipación,
Contaminación.

Index words: Chemical compound, Dissipation,
Pollution.

RESUMEN

El comportamiento del carbofurán (Curater^R 5G) se estudió en dos suelos drenados de un cultivo de maíz: arcilloso y limo-arcilloso, durante dos años sucesivos. Se observaron diferentes curvas de disipación en los dos suelos, pero los valores de la persistencia fueron similares cada año (8 semanas en 1985, 9 semanas en 1986). Se encontró que el agua drenada del suelo rico en materia orgánica contenía más carbofurán: 7.1-13.7% de la dosis aplicada, en comparación con el 2.5-5 por ciento de la dosis aplicada contenido en el agua drenada del suelo limo-arcilloso. La mayor parte de esos porcentajes se encontró en las aguas de drenaje asociadas a las lluvias de las primeras, segundas y terceras semanas después de la aplicación. Los experimentos de laboratorio confirmaron la influencia del tipo de suelo, del tamaño de los agregados del suelo y

de la velocidad de percolación del agua sobre la adsorción del carbofurán y por lo tanto sobre la lixiviación del producto bajo condiciones de campo.

SUMMARY

Carbofuran (Curater^R 5G) behavior was studied for two successive years in drained soils, clay and loamy-clay, of two cornfields. Different dissipation curves were observed between the two soils, but the persistence values were similar for each year (eight weeks in 1985, nine weeks in 1986). We found that drained water from soil rich in organic matter possessed a higher carbofuran content, with 7.1-13.7% and 2.5-5.0% of the applied dose in clay and loamy-clay soils, respectively. The major part of these percentages was found in the drained water associated with rain falls occurring during the first 2-3 weeks after application. Laboratory experiments have confirmed the influence of soil type, soil aggregate size and percolating water speed on carbofuran adsorption, consequently on carbofuran leaching under field conditions.

INTRODUCCION

Un plaguicida de suelo desde su aplicación en el campo sufre los procesos de disipación.

Recibido 6-89.

Las características físico-químicas de la molécula madre, la formulación comercial, el clima y las propiedades físico-químicas del suelo van a determinar el grado de cada uno de los procesos de disipación de esa sustancia química, como la volatilización, la absorción por la planta, el movimiento, la lixiviación y la degradación; procesos que son todos condicionados por los fenómenos de adsorción-desorción del producto. El resultado de todos esos procesos y fenómenos de disipación es el valor de la persistencia. Esta última tiene una gran importancia en agricultura, ya que indica, por una parte, el período de disponibilidad del plaguicida contra las plagas de un cultivo y por otra parte indica la desaparición de la molécula madre en el suelo. Esta importancia del valor de persistencia enfatiza la necesidad del estudio de los factores que la influyen.

El carbofurán (insecticida) es muy utilizado en la agricultura en todo el mundo. Por esta razón numerosas investigaciones se han realizado para estudiar los factores que afectan su persistencia.

La volatilización del producto es despreciable (Caro *et al.*, 1976; Deuel *et al.*, 1979). Su absorción por la planta es poco importante y el escurrimiento es del orden del 2% de la dosis aplicada (Caro *et al.*, 1973; Pansu *et al.*, 1981). La migración en profundidad existe (Houpert *et al.*, 1983) pero es limitada (Gorder *et al.*, 1980). La degradación biológica (metabolismo) y química del carbofurán existe y es función de las características físico-químicas y biológicas del suelo (Getzin, 1973; Read, 1986; Siddaramappa *et al.* 1978).

La lixiviación queda, sin embargo, a evaluar. En este trabajo se siguió el carbofurán después de su aplicación sobre la línea de siembra; horizontalmente, verticalmente y en las aguas de drenaje, durante dos años sucesivos en dos suelos drenados cultivados con maíz.

Los resultados y las observaciones obtenidas para este producto en el campo, fueron desarrollados en el laboratorio para definir mejor su comportamiento en esos dos suelos bajo condiciones naturales.

MATERIALES Y METODOS

Experimentación de Campo

Este trabajo fue realizado en la granja experimental de la Escuela Nacional Superior de Agronomía y de Industrias Alimentarias de Nancy, Francia.

El sistema experimental y las técnicas empleadas fueron publicados por Achik y Schiavon (1988). En seguida se da una breve descripción del sistema. Las características físico-químicas de los dos suelos (limo-arcilloso y arcilloso) son presentadas en el Cuadro 1. Estos dos suelos constituyen dos parcelas juxtapuestas, drenadas por un sistema de canalización bajo el terreno.

El sistema desembocó a una cámara de conteo para calcular el volumen de agua percolada.

El tratamiento se efectuó sobre la línea de siembra de maíz con 12 kg ha⁻¹ de Curater R (600 g de carbofurán).

El muestreo se efectuó con una barrena (14 muestras sobre diferentes puntos del campo). Las muestras se llevaron al laboratorio, luego fueron secadas y tamizadas. Los residuos de 50 g de suelo fueron primero tratados con ácido clorhídrico diluido y luego la solución acuosa fue extraída con diclorometano.

La cuantificación de los residuos se efectuó utilizando el primer año la cromatografía de gases, y el segundo año la cromatografía en fase líquida (HPLC).

Cuadro 1. Características físico-químicas de los suelos.

Suelo	pH (agua)	Carbono	Arena	Limo	Arcilla
		----- % -----			
Arcilloso	7.3	2.5	3.9	35.7	51.7
Limo-arcilloso	6.4	1.6	20.3	39.4	24.2

Experimentación de Laboratorio

Estudio de adsorción-desorción. Esta técnica fue publicada por Achik et al. (1988a) y se basa en la utilización de 2 g de suelo que se colocan en un tubo de vidrio al cual se agregan 5 ml de una solución acuosa de carbofurán marcado sobre la cadena carbámica (la molécula marcada fue proporcionada por la compañía Bayer). La mezcla se agitó durante 72 h (tiempo necesario para alcanzar el equilibrio), el cual es determinado previamente por un estudio de la cinética de adsorción. Enseguida se sometió a centrifugación y el carbofurán fue cuantificado en la fase acuosa por cintilación líquida. Se utilizaron cinco concentraciones para la determinación de las isotermas de adsorción.

Para las isotermas de desorción se vació la fase acuosa de los tubos y se agregó agua. Luego se siguió el mismo procedimiento que para generar las isotermas de adsorción.

Estudio de la migración en columnas. Este estudio fue también publicado por Achik et al. (1988b). Aquí se presenta solamente una idea breve sobre la técnica.

Los suelos testigo no tratados se utilizaron para formar columnas en tubos de polivinil clorado (PVC). Después del tratamiento con una dosis de Carbofurán (Curater^R) equivalente a la utilizada en el campo, se hizo pasar el mismo volumen de precipitación encontrado durante la experimentación en el campo.

Enseguida se fraccionó el agua según un régimen de percolación para obtener cuatro fracciones de agua. Después se dividieron (cortaron) las columnas en rebanadas correspondientes a cinco niveles de profundidad entre 0 y 24 centímetros. Los residuos de carbofurán se cuantificaron por cromatografía de gases.

Tres efectos fueron estudiados: el tipo de suelo, el tamaño de los agregados y la velocidad de percolación del agua.

RESULTADOS Y DISCUSION

Experimentación de Campo

Los resultados obtenidos (Achik y Schiavon, 1988) pueden resumirse de la manera siguiente para el año 1985.

- La persistencia del Carbofurán en la capa 0-10 cm del suelo es de ocho semanas en los dos suelos.
- La desaparición del producto está relacionada con las primeras lluvias fuertes.
- La aparición de insecticida a profundidad (10-24 cm) sigue las primeras lluvias fuertes.
- Las cantidades acarreadas por las aguas de percolación son más elevadas (13% de la dosis aplicada) para el suelo arcilloso más rico en materia orgánica que para el suelo limo-arcilloso (5% de la dosis aplicada); la mayor parte del producto se diluyó y lixivió con la primera lluvia fuerte.

El segundo año, 1986, la situación se repitió. La persistencia fue de nueve semanas en los dos suelos, y la lixiviación es de 7.1% y de 2.5% de la dosis aplicada, para los suelos arcillosos y limo-arcillosos, respectivamente. En este año, se observó un movimiento lateral del producto a 15 cm de la línea de siembra en los dos suelos.

Por consecuencia, el suelo más rico en arcilla y en materia orgánica (suelo arcilloso) retiene menos el carbofurán, lo cual está en contradicción con los resultados de Jamet y Piedalu (1979), quienes mostraron que en tanto el contenido de suelo en materia orgánica sea mayor, la movilidad del carbofurán es limitada.

Experimentación de Laboratorio

Estudios de la adsorción-desorción. Los resultados ya publicados por Achik et al. (1988b) se resumen de la manera siguiente.

Para trazar las isoterms de adsorción, se efectuó un estudio de la cinética de adsorción y se determinó el tiempo necesario para llegar al estado de equilibrio. Este estudio mostró que el equilibrio se alcanzó en el suelo limo-arcilloso en algunas horas, en cambio en el suelo arcilloso no se alcanzó ni aún después de tres días.

Por lo tanto, es posible que el suelo arcilloso lixivie más el carbofurán que el suelo limo-arcilloso, siempre y cuando la infiltración del agua en el campo no dure más que algunas horas; aun cuando la capacidad del suelo arcilloso para retener el producto es más elevada. Esta última observación fue demostrada por las isoterms de adsorción que también mostraron que el suelo arcilloso retiene más el producto que el suelo limo-arcilloso. Esto podría significar que el carbofurán solubilizado de su formulación comercial Curater, no tiene el tiempo necesario para ser adsorbido por el suelo arcilloso en el campo.

Estudio de la migración en columnas. Los resultados obtenidos (Achik *et al.*, 1988a) se resumen de la manera siguiente.

Efecto del tipo de suelo. Cuando se fija el tamaño de los agregados (entre 0-2 mm) y la velocidad de percolación ($1 \text{ ml} \cdot \text{min}^{-1}$), se obtiene más lixiviación para el suelo arcilloso que para el limo-arcilloso, lo cual concuerda con los resultados obtenidos en el campo.

A sabiendas que el experimento no duró más de 48 h, se puede decir que la cinética de adsorción ha tenido una influencia en este fenómeno. Además, no se puede despreciar un eventual desmoronamiento de la estructura del suelo limo-arcilloso debido a una estabilidad estructural más frágil de éste que la del suelo arcilloso, lo cual puede también aumentar la superficie de contacto del suelo limo-arcilloso y, por lo tanto, aumentar la adsorción del carbofurán.

Efecto del tamaño de los agregados. Cuando se fijó la velocidad de percolación del agua y se aumentó el tamaño de los agregados (entre 1-2 mm), la lixiviación

aumentó en los dos suelos; y el efecto del tipo de suelo persistió. Esto confirmó que un desmoronamiento de la estructura puede aumentar la adsorción.

Esto puede también tener una influencia en el campo, puesto que el fenómeno de desmoronamiento de la estructura del suelo limo-arcilloso se observó, por lo que este estudio muestra que una buena preparación del suelo limita la lixiviación del carbofurán, y posteriormente podría probablemente aumentar la disponibilidad del producto para la planta.

Efecto de la velocidad de percolación. Cuando se fijó el tamaño de los agregados y se aumentó la velocidad de percolación (aproximadamente $2 \text{ ml} \cdot \text{min}^{-1}$) en caída libre, la lixiviación bajó en los dos suelos considerablemente y la mayor parte del producto se quedó en la superficie del suelo (70%), en los dos suelos. Por lo tanto, el efecto suelo desaparece aquí.

Esto sólo puede explicarse por la presencia de una cierta cinética de solubilización del carbofurán en su formulación microgranulada (Curater R); por que no ha habido suficiente contacto producto-agua-suelo para que el efecto del tipo de suelo se manifieste.

CONCLUSIONES

Este trabajo ha contribuido a poner en evidencia ciertos factores como el tipo de suelo, el tamaño de los agregados y la velocidad de infiltración del agua, que afectan el comportamiento del carbofurán en el suelo. Igualmente, mostró la importancia del estudio de la cinética de adsorción en este tipo de investigación. Además, este trabajo demostró que una lixiviación considerable del carbofurán es un problema que se resuelve, por una parte, con una preparación más fina de la capa de siembra y por otra parte, que una formulación comercial, cuya cinética de solubilización de carbofurán sea más lenta, puede dar el mismo efecto. Sin embargo, falta conocer la importancia de los fenómenos de degradación, de fijación no-reversible y la influencia del

carbofuran sobre los microorganismos útiles del suelo.

AGRADECIMIENTO

Los autores agradecen a la Compañía Bayer, por haber proporcionado la molécula marcada de Carbofuran.

LITERATURA CITADA

- ACHIK, J. y M. SCHIAVON.** 1988. Carbofuran transfer and persistence in two drained agricultural soils related to their structure and adsorption properties. Presented at the ESA annual meeting, November 29-December 3, 1987. Boston, USA J. Eco. and Envi. Safety (en prensa).
- ACHIK, J., M. SCHIAVON y P. JAMET.** 1988a. Study of carbofuran movement in soils. I. Influence of soil structure, percolation speed and dose on carbofuran movement and leaching in two types of soil. Presented at the 6th International Conference. Chemistry for the Protection of the Environment. Sep. 14-17, 1987. Torino, Italy. Elsevier Publication (en prensa).
- ACHIK, J., M. SCHIAVON y P. JAMET.** 1988b. Study of carbofuran movement in soils. II-Describing the kinetics of carbofuran adsorption with different mathematical models. Presented at the 6th International Conference. Chemistry for the Protection of the Environment. Sep. 14-17, 1987. Torino, Italy. Elsevier Publication (en prensa).
- CARO, J. L., H.P. FREEMAN, D.E. GLOTFELTY, B.C. TURNER y W.M. EDWARDS.** 1973. Dissipation of soil incorporated carbofuran in the field. J. Agr. Food Chem. 21: 1010-1015.
- CARO, J.L., A.W. TAYLON y H.P. FREEMAN.** 1976. Comparative behavior of dieldrin and carbofuran in the field. Archives of Envir. Cont. Toxic 3: 437-447.
- DEUEL, L.E., J.D. PRICE, F.T. TURNER y K.W. BROWN.** 1979. Persistence of carbofuran and its metabolites, 3-keto and 3-hydroxy carbofuran under flooded rice culture. J. Envi. Qual. 8: 23-26.
- GETZIN, L.W.** 1973. Persistence and degradation of carbofuran in soil. J. Env. Ent. 2: 461-467.
- GORDER, G.W., P.A. DAHM y J.J. TOLLEFSON.** 1982. Carbofuran persistence in corn field soils. J. Eco. Entomol. 75: 637-642.
- HOUPERT, G., M. JENOT y P. MARCHEGAY.** 1983. Dosage biologique du carbofuran dans un champ de colza. 6^{ème} Congres International sur le Colza, 17-18 Mai 1983, Paris, 1077-1082.
- JAMET, P. y M. A. PIEDALU.** 1979. Movement of carbofuran in different types of soils. Special publications No. 82, 51-62. Volcani Center Bet. Dagan. ISRAEL.
- PANSU, M., M. N. AL SALT, H. AUBERT y J. GRY.** 1981. Contribution a l'étude de l'activité systématique du carbofuran au moyen de la chromatographie en phase gazeuse. Phytatrie - phytopharmacie 30: 203-214.
- READ, D.C.** 1986. Accelerated microbial breakdown of carbofuran in soil from previously treated field. Agr. Ecosys and Envi. 15: 51-61.
- SIDDARAMAPPA, R., A.C. TIROL, J.N. SEIBER, A.E. HEINRIDIS y I. WATANABE.** 1978. The degradation of carbofuran in paddy water flooded soil of untreated and retreated rice fields. J. Envi. Sci. Health 13: 369-380.

ENSAYO

Comportamiento del carbofurán en dos suelos agrícolas drenados. Estudios en el campo y en el laboratorio.

J. ACHIK y M. SCHIAVON

81