

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

# TERRA

Volumen 6

Julio-Diciembre de 1988

Número 2

## DIVISION I

### INDICE



Modelo geomorfológico preliminar del relieve del Valle de La Paz-El Carrizal, BCS, y su relación con el recurso agua.

**RAMON PIMENTEL HERNANDEZ,  
EMIGDIO Z. FLORES W.,  
JOSE ANTONIO PEREZ V.  
y HECTOR J. GARCIA MONARREZ.** 79

## DIVISION II



Eficiencia del agua de riego en maíz y frijol, con aprovechamiento del agua de lluvia en diferentes fechas de siembra.

**JOSE VERASTEGUI CH.** 86  
Agrupación de ambientes agrícolas de los Valles Centrales de Oaxaca con base en información de suelo y clima.

**OCTAVIO PEREZ-ZAMORA.** 92  
Ajuste osmótico en raíces de algodón en respuesta al deficit de agua en el medio de cultivo.

**LEONARDO TIJERINA CHAVEZ.** 101  
Disponibilidad del fósforo de los estiércoles solos y combinados con superfosfato triple en un suelo calcáreo.

**J.J. MUÑOZ y J.Z. CASTELLANOS.** 111  
Cultivo de frijol irrigado por el método de riego por succión.

**LEONARDO TIJERINA CHAVEZ.** 117

## DIVISION III



Relación entre índices de crecimiento en maíz y el efecto de la aplicación de nitrógeno y fósforo al suelo.

**OCTAVIO PEREZ-ZAMORA.** 131  
Estado nutricional de los cítricos de la sabana de Huimanguillo, Tabasco.

**REY TOLEDO MARTINEZ  
y JORGE D. ETCHEVERS B.** 140

## ENSAYOS

## AGRADECIMIENTO

Posterior a una exhortación, deviene una reacción, una respuesta; precisamente la elaboración de la revista TERRA cumple ese objetivo. Objetivo que se plasmó para lograr su edición, su traducción y por ende, su difusión internacional.

Es menester, entonces, un agradecimiento a todos los participantes para el logro de la calidad científica que merece y justifica la revista.

En estos momentos, no se torna suficiente el conocimiento científico, se observa más adecuado agregar a dicho conocimiento los objetivos y metas prácticas y de solución al insoslayable problema de aumentar la producción agrícola. De aquí se desprende que las investigaciones sobre el maíz, el frijol, ambientes agrícolas, algodón, métodos de riego, fertilización, así como los ensayos sobre salinidad, calidad de agua para riego y finalmente la microbiología del suelo; sean aportaciones de tipo práctico, vaya así un agradecimiento a los investigadores que con ese espíritu atendieron la exhortación.

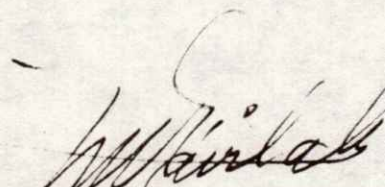
La Escuela Superior de Agricultura "Hermanos Escobar" cumple con su proyecto de coadyuvar con la Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo, para acrecentar la producción del Agro Mexicano, para conocer y actuar sobre el sostén de la planta, El Suelo.

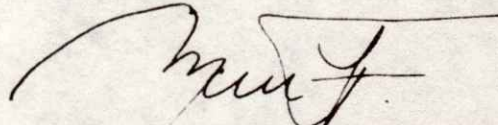
Enhorabuena Dr. Andrés Aguilar Santelises, Presidente de la Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo.

"84° ANIVERSARIO"  
E.S.A.H.E. (1906-1990)  
SABER • QUERER • PODER



LOS CODIRECTORES

  
AGR. MARIO DAVILA GONZALEZ

  
ING. MARCOS LOPEZ TORRES

## INDICE

### EDITORIAL

SOCIEDAD MEXICANA DE LA CIENCIA DEL  
SUELO A.C.

#### 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,  
Secretario General  
M.C. JOSEFINA PAREDES GONZALEZ,  
Tesorero  
DR. GABRIEL ALCANTAR GONZALEZ,  
Secretario Técnico  
DR. RAMON FERNANDEZ GONZALEZ,  
Secretario de Relaciones Publicas  
M.C. JORGE L. TOVAR 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 6-2, julio-diciembre 1988.

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, a: 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*

- Modelo geomorfológico preliminar del relieve del Valle de La Paz-El Carrizal, BCS, y su relación con el recurso agua. RAMON PIMENTEL HERNANDEZ, EMIGDIO Z. FLORES W., JOSE ANTONIO PEREZ V. y HECTOR J. GARCIA MONARREZ. . . . . 79

#### *División II: Relación Suelo-Clima-Biota*

- Eficiencia del agua de riego en maíz y frijol, con aprovechamiento del agua de lluvia en diferentes fechas de siembra. JOSE VERASTEGUI CH. . . . . 86
- Agrupación de ambientes agrícolas de los Valles Centrales de Oaxaca con base en información de suelo y clima. OCTAVIO PEREZ-ZAMORA. . . . . 92
- Ajuste osmótico en raíces de algodón en respuesta al deficit de agua en el medio de cultivo. LEONARDO TIJERINA CHAVEZ. . . . . 101
- Disponibilidad del fósforo de los estiércoles solos y combinados con superfosfato triple en un suelo calcáreo. J.J. MUÑOZ y J.Z. CASTELLANOS. . . . . 111
- Cultivo de frijol irrigado por el método de riego por succión. LEONARDO TIJERINA CHAVEZ. . . . . 117

#### *División III: Aprovechamiento del Recurso Suelo*

- Relación entre índices de crecimiento en maíz y el efecto de la aplicación de nitrógeno y fósforo al suelo. OCTAVIO PEREZ-ZAMORA. . . . . 131
- Estado nutricional de los cítricos de la sabana de Huimanguillo, Tabasco. REY TOLEDO MARTINEZ y JORGE D. ETCHEVERS B. . . . . 140

### ENSAYOS

- Historia de la investigación en salinidad del suelo y calidad del agua de riego en Estados Unidos de América. S. MIYAMOTO. . . . . 151
- Importancia presente y futura de la microbiología de suelos en la producción agrícola. W.C. LINDEMANN. . . . . 161
- El suelo como un medio receptor de desechos. G. A. O'CONNOR. . . . . 166

- INDICE DE AUTORES . . . . . 171
- REVISORES . . . . . 172
- NORMAS PARA PUBLICACION . . . . . 173

INDEX

SCIENTIFIC ARTICLES

SOIL SCIENCE SOCIETY OF MEXICO

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,  
 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 6-2, July-December 1988.

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, Cha-  
 pingo, Estado de México.

Telephone: + 52 595 42200, ext. 5237.

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

Preliminary geo-morphological relief model  
 of the Valley of La Paz-El Carrizal, BCS, and its  
 relationship with water resources. RAMON  
 PIMENTEL HERNANDEZ, EMIGDIO Z.  
 FLORES W., JOSE ANTONIO PEREZ V. and  
 HECTOR J. GARCIA MONARREZ. . . . . 79

*Division II: Soil-Climate-Biota Relationship*

Water-use efficiency for corn (*Zea mays*) and  
 beans (*Phaseolus vulgaris*), using available precipi-  
 tation in six sowing-times. JOSE VERASTEGUI  
 CH. . . . . 86

Agricultural environments of the Oaxaca Cen-  
 tral Valley based on soil and climatological data.  
 OCTAVIO PEREZ-ZAMORA. . . . . 92

Osmotic adjustment in cotton roots in response  
 to water deficit in the culture medium.  
 LEONARDO TIJERINA CHAVEZ. . . . . 101

Phosphorus availability of animal manure alone  
 and combined with superphosphate on a calcareous  
 soil. J.J. MUÑOZ and J.Z. CASTELLANOS. . . . . 111

Bean crop irrigated by the irrigation suction  
 method. LEONARDO TIJERINA CHAVEZ. . . . . 117

*Division III: Use of the Soil Resource*

Effects of nitrogen and phosphorus additions  
 on growth index for maize. OCTAVIO PEREZ-  
 ZAMORA. . . . . 131

Nutritional status of citrus orchards in the  
 Huimanguillo Savannah, Tabasco. REY TOLEDO  
 MARTINEZ and JORGE D. ETCHEVERS B. . . . . 140

ESSAYS

History of soil salinity and irrigation water  
 quality research in the USA. S. MIYAMOTO. . . . . 151

Present and future importance of soil  
 microbiology in crop production. W.C. LINDE-  
 MANN. . . . . 161

Soil as a waste disposal media. G.A.  
 O'CONNOR. . . . . 166

AUTHOR INDEX . . . . . 171

INVITATION REVIEWERS 1988 . . . . . 172

INSTRUCTIONS FOR AUTHORS . . . . . 173

## EDITORIAL

Casi noviembre de 1989, el Congreso Nacional está muy cerca y nuestros planes para colocar la revista al día se encuentran un tanto retrasados. Sin embargo, se ha hecho un esfuerzo sin parangón por parte de la Comisión Editora para normalizar su aparición. Entregamos aquí el segundo número del volumen 6, correspondiente a julio-diciembre de 1988. Este contiene trabajos recibidos durante ese año y algunas conferencias magistrales presentadas en el XXI Congreso en Cd. Juárez, Chih. La edición del presente número ha sido posible gracias a la valiosa colaboración de CONACYT y de la Escuela Superior de Agricultura "Hermanos Escobar" y al entusiasmo e interés del M. C. Octavio Rodríguez Curiel, miembro de la directiva actual de la Sociedad. Vaya para ellos la gratitud de todos los miembros.

Llamamos la atención de nuestros lectores sobre la publicación de tres trabajos en inglés. Damos inicio así a una apertura de TERRA hacia otros idiomas, que esperamos contribuya a su internacionalización en un futuro cercano. Debido a problemas de producción en un idioma distinto del español, el tipo de la letra empleado para estos artículos no es el mismo que el del resto de la revista. Esperamos que en próximas publicaciones podamos solucionar el inconveniente señalado.

La Comisión Editora y este Editor tienen el firme propósito de continuar haciendo los esfuerzos necesarios para que TERRA sea reconocida nacional e internacionalmente y para regularizar su publicación. Estamos en la senda correcta, sólo denos el tiempo necesario para ello.

El Editor.

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

**DIVISIONES Y DISCIPLINAS**

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

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

*División II: Relación Suelo-Clima-Biota*

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

*División III: Aprovechamiento del Recurso Suelo*

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

*División IV: Educación y Asistencia Técnica*

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

## MODELO GEOMORFOLOGICO PRELIMINAR DEL RELIEVE DEL VALLE DE LA PAZ-EL CARRIZAL, BCS, Y SU RELACION CON EL RECURSO AGUA

Preliminary Geo-morphological Relief Model of the Valley of La Paz-El Carrizal, BCS, and its Relationship with Water Resources

Ramón Pimentel Hernández, Emigdio Z. Flores W.,  
José Antonio Pérez V. y Hector J. García Monarrez

Universidad Autónoma de Baja California Sur. Programa de Investigación en Recursos Hidrológicos.

Departamentos de Agronomía y de Geología, Apartado Postal 19-B, 23000 La Paz, BCS.

### RESUMEN

El presente trabajo pretende contribuir al conocimiento de la estructura y comportamiento de un sistema natural, concretamente el Valle de La Paz-El Carrizal y zonas aledañas. El mismo tiene como objetivos: tratar de definir fuentes adecuadas de agua que satisfagan las necesidades futuras de la población de la ciudad de La Paz, capital del estado de Baja California Sur, e implementar metodología básica en el conocimiento de las características y factores de que depende el proceso de recarga de acuíferos en una región árida.

Con base en ciertas técnicas geomorfológicas fue realizado un estudio sobre las formas del terreno, mismo que muestra la existencia de tres grandes franjas con características comunes entre sí, siendo a su vez subdivididas en zonas con particularidades propias. Este conjunto de elementos fue obtenido partiendo de la integración de información proveniente de un plano que muestra la forma en que se relacionan el relieve con la ocurrencia y situación de los recursos naturales, en este caso la recarga de acuíferos y los procesos ligados a la misma.

Palabras clave: Agua, Recarga, Geomorfología.

### SUMMARY

The intention of this research is to make a contribution to general knowledge of the structure and behavior of a natural system, particularly that of the Valley of La Paz-El Carrizal and its surroundings.

The two main objectives are a) to search for water resources that could possibly satisfy the needs of the city of La Paz in the near future, and b) to develop a basic methodology for defining the specific features and factors in arid zones on which the replenishment of water resources depends.

Based on geomorphometric techniques, research on terrain forms was carried out. This showed the existence of three wide strips with similar features, which were sub-divided into different zones with their own individual characteristics.

Index words: Water, Replenishment, Geomorphology.

## INTRODUCCION

Los objetivos generales que permitieron la realización de este estudio, fueron el tratar de definir fuentes adecuadas de agua que satisficieran las necesidades futuras de la población de la ciudad de La Paz, BCS, el conocimiento de las características y factores que dependen del proceso de recarga de acuíferos en una región árida, asimismo y relacionado con lo anterior, el pobre conocimiento que se tiene sobre la estructura y el comportamiento del área de interés (Figura 1), en cuanto al manejo del agua. Esta en realidad es un sistema físico formado por la atmósfera, cuenca superficial con componentes tales como relieve, vegetación y suelo, y el subsistema cuenca subterránea.

Tomando como base ciertas técnicas geomorfométricas de origen europeo (Kostenko, 1975), se intentó realizar un estudio sobre la forma del terreno, con la intención de conocer el comportamiento del agua en la superficie y de ser posible en el mismo subsuelo.

Concretamente, lo que se busca es tratar de mostrar como la interacción del relieve influye o se relaciona con la prospección de áreas con potencial de recarga y almacenamiento subterráneo de agua, así como presentar metodología geomorfométrica sencilla y apropiada para manejar problemas relacionados con el estudio de los recursos naturales.

## MATERIALES Y METODOS

Con objeto de cubrir un entorno adecuado que ayudara a describir las propiedades espaciales del sistema, se estableció como área de estudio aquella superficie cubierta por seis hojas topográficas escala 1:50,000 editadas por INEGI-SPP, que incluyen el valle de La Paz-El Carrizal (Figuras 1 y 2), dos cuencas en apariencia comunicadas entre sí, así como zonas aledañas que podrán ser de interés, cubriendo el conjunto una superficie aproximada de 5646 km<sup>2</sup> (Geociencias, 1984).

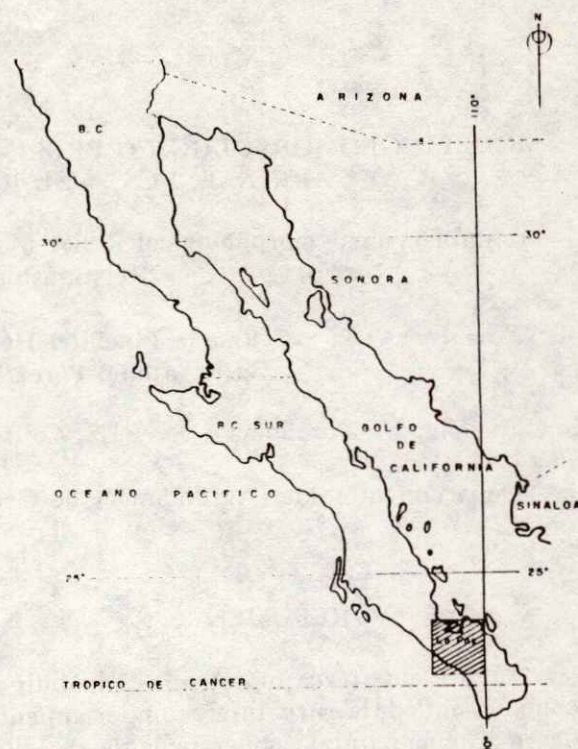


Figura 1. Localización del área de estudio, valle de La Paz-El Carrizal y zonas aledañas.

Para no describir únicamente formas del terreno sino también intentar cuantificar ciertos parámetros de interés, el estudio fue dividido en cuatro apartados que integrados permitieran conocer y comprender mejor el sistema, siendo éstos a saber: el relieve, drenaje, densidad de drenaje y disección del drenaje.

Es lógico pensar que la metodología propuesta no es única, ni quizás la mejor, no obstante, presenta ciertas particularidades que pueden hacerla atractiva para su empleo en casos semejantes.

### Descripción del Problema y Objetivos.

Desde el punto de vista de entradas y salidas de flujos subterráneos, la superficie de una cuenca superficial puede dividirse en tres partes, a saber: el área de recarga, un área de transición y otra de descarga. La primera puede ser definida como aquella área en la cual el flujo neto de agua subterránea se acerca al nivel freático. En general, se conoce que la



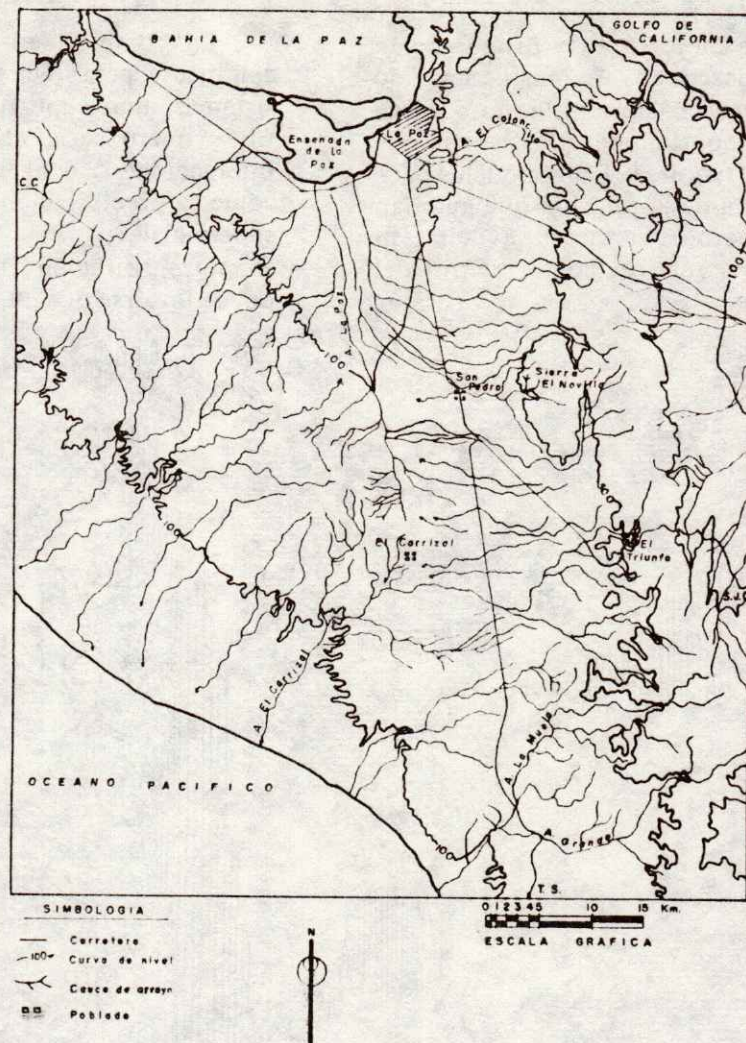


Figura 2. Plano de referencias geográficas.

línea divisoria entre ambas áreas tiende a circundar los drenajes naturales de las tierras bajas o valles. Algunos autores hablan de una extensión del área de descarga del orden de 5 a 30% del área total (Freeze y Cherry, 1979). Ellos mismos hacen referencia a cinco indicadores básicos para detectar áreas de descarga y recarga: 1) topografía, 2) piezometría, 3) hidrogeoquímica, 4) isótopos ambientales, y 5) características del terreno y suelo. Con el enfoque propuesto en el presente trabajo, se agrega la geomorfología que integra (1) y (5) y otros rasgos como son concretamente drenaje y geoformas.

La recarga de un acuífero es toda aquella agua que alimenta al almacenamiento

subterráneo o acuífero, y es en realidad un proceso o serie de cambios ordenados. La interrelación y jerarquización de un alto número de variables hacen de ella un proceso difícil de tratar. Es costumbre, en nuestro país, describir la recarga por un simple número o valor promedio, multitud de estudios geohidrológicos efectuados por compañías particulares e instituciones especializadas de gobierno federal lo corroboran, obteniéndola a través de la manipulación de una serie de ecuaciones de balance de agua. En otras partes del mundo se maneja la estadística de los datos de campo, tales como niveles potenciométricos y lluvias, con objetivo de generar una serie de tiempo y así obtener la recarga. Esta última aproximación de la

realidad, aunque mejor que la primera, aún continúa apoyándose en el mismo modelo simplificado, en otras palabras, el interés recae más bien en el comportamiento del sistema que en conocer sus estructuras. Estos modelos poco o nada dicen acerca de la relación que guardan entre sí un sinnúmero de variables envueltas, ni de su importancia relativa como control del proceso de recarga.

La complejidad señalada anteriormente, conduce a pensar en términos de dos grandes sistemas, uno superficial y otro subterráneo. El primero sería el sistema cuenca y las interacciones con su medio ambiente, tales como la precipitación pluvial, escurrimientos superficiales, infiltración y evapotranspiración. Con base en lo anterior puede intuirse que una gran parte del interés en

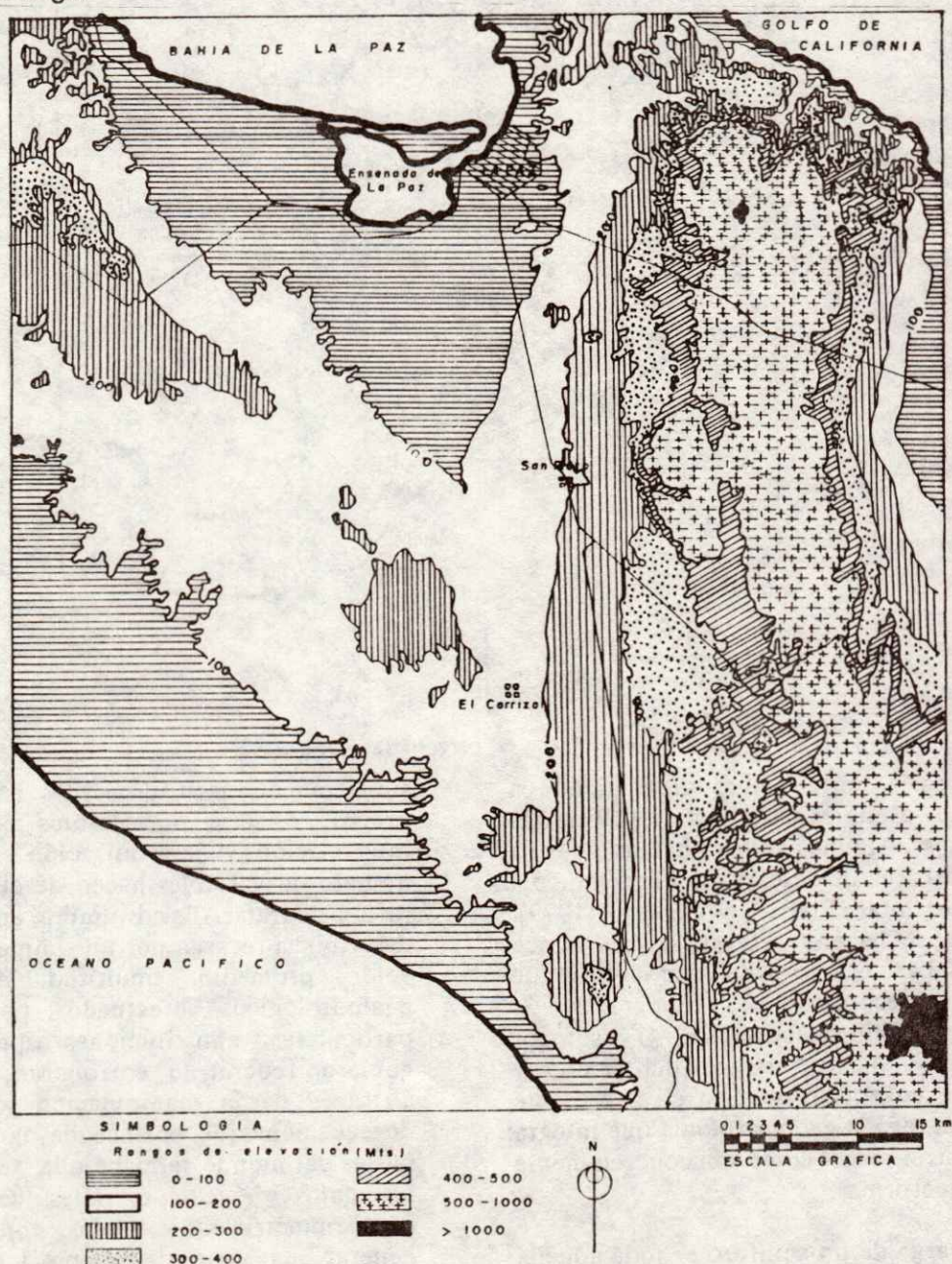


Figura 3. Plano hipsométrico.

una investigación orientada a tratar de comprender el proceso natural de recarga, sin lugar a dudas debe valorar que control ejercen las geoformas o formas geológicas características del relieve y el sistema de drenaje superficial sobre ella. Estas muestran el efecto combinado de procesos ligados a movimientos en la corteza terrestre y al manto superior, llamados endógenos, y procesos exógenos, tales como intemperismo, denudación y acumulación de materiales.

En un intento de mostrar la influencia que guardan las formas del relieve en cuanto a ocurrencia, almacenamiento y flujo del agua en una naturaleza tan compleja como lo es un sistema hidrológico, es propuesto un factor importante, usualmente menospreciado, que consiste en la representación de la distribución espacial de las diversas elevaciones del terreno.

En el presente trabajo, aprovechando la información de las cartas topográficas de INEGI, es presentado un plano en el cual aparecen los principales datos topográficos del área a partir del cual se formó un plano hipsométrico (Figura 3), que consiste en la representación de los diversos rangos de elevación del terreno, con base en las curvas de nivel. Los rangos propuestos obedecen a la idea de presentar la información topográfica en una forma tal que permita distinguir los principales contrastes topográficos, su distribución y las tendencias en las formas del relieve. Como un primer intento de describir la zona de estudio, desde un punto de vista orográfico, fue dividida ésta en tres grandes franjas longitudinales, que a su vez se dividieron en zonas con características definidas comunes entre sí (Figura 4).

## RESULTADOS Y DISCUSION

De manera general, el relieve fue causado por procesos endógenos tectónicos y exógenos acumulativos.

La franja I (Figura 4), constituida por rocas intrusivas y metamórficas, constituye estructuralmente un Horst; la franja III, con

rocas sedimentarias, muestra un monoclinual cuyo relieve es de origen exógeno acumulativo.

Los elementos fundamentales del relieve son la montaña, el pie de monte, la planicie y los lomeríos.

La zona de captación, en el parteaguas este, con escaso suelo y dominado por granitos intemperizados, presenta juegos de juntas fracturas y fallas definiendo cauces de corrientes que drenan pequeñas subcuencas. En caso de ocurrencia de lluvia prolongada, parte del agua infiltrada a través de la zona intemperizada pasa posteriormente, con un retraso de tiempo, a drenar como pequeños manantiales, lo cual permite observar algunas corrientes aun en tiempos de secas. La duración del periodo de escurrimiento depende de cantidad, distribución espacial y temporal de la lluvia, grado de intemperismo, grado de fracturamiento, cobertura de suelo y vegetación, tamaño de la subcuenca y característica de la zona de captación. De lo anterior depende el recorrido del agua infiltrada, si la pendiente tiende a ser constante,

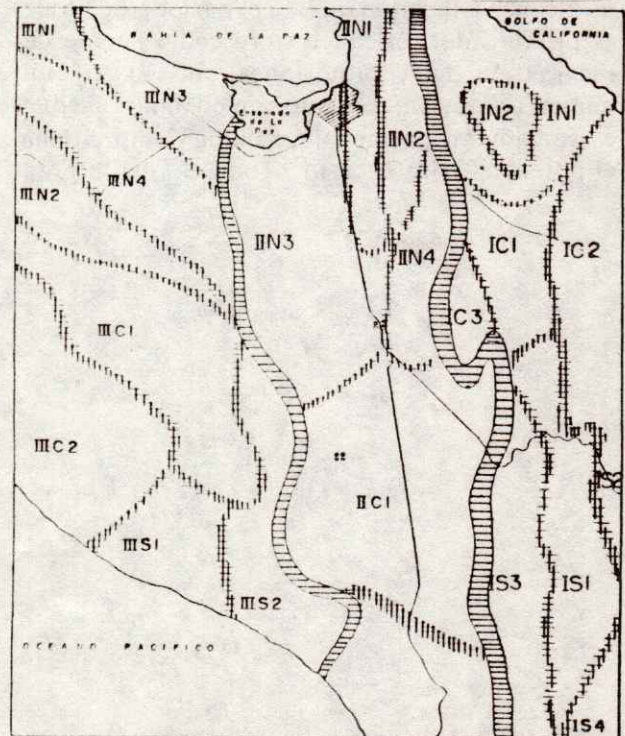


Figura 4. Plano de zonificación del relieve.

los manantiales tenderán a ocurrir en la zona intermedia o de infiltración (Figura 5-b) y aun podrá darse el caso de componentes profundos que diera lugar a flujo profundo o regional. Otra opción podría ser una serie de valles intermontanos controlando el flujo subterráneo y generando una serie de celdas locales de flujo, dando lugar a pequeñas corrientes en la zona de captación (Figura 5-c).

La zona de infiltración es aquella que ya cuenta con un cauce principal bien definido, que capta agua de una amplia zona y se mueve sobre pendientes menores, en épocas de lluvia permite transportar volúmenes considerables de agua, mientras que en épocas de secas viene a ser el dren natural a través del cual existe un flujo en el subsuelo. Si el período de secas es prolongado, se puede llegar al extremo de que el material de relleno en el cauce no conduzca agua.

En la planicie aluvial, el cauce principal es utilizado únicamente cuando la lluvia es considerable en las partes altas de la cuenca, o ante lluvias locales; en ocasiones quizás el agua no alcance a llegar al mar. Si el período de lluvia es prolongado, el cauce sirve como fuente de recarga de agua subterránea, al existir un mayor tiempo de contacto con un material que es sumamente permeable, aunque siempre tiene el potencial para hacerlo. Toda el área o gran

parte de ella es capaz de captar agua de lluvia, sin embargo, poca o nula recarga es generada, debido a que cuando la lluvia ocurre, se presentan las más altas temperaturas que dan pie a una muy alta evapotranspiración.

## CONCLUSIONES

Los rasgos de interés que se observan en el área de estudio en relación al relieve son: en la franja I región norte el fracturamiento parece ser intenso y profundo, dada la separación estrecha y orientación cambiante de las curvas de nivel (Figura 4).

El descenso del agua de las partes altas es brusco y es captado en donde cambia la pendiente y se inicia la zona de infiltración. En esta parte se localiza en abanico aluvial del cauce "El Cajoncito" (Figura 2), el cual queda restringido al oeste por un material volcánico, que posiblemente impida la salida de agua subterránea hacia el mar por ese costado y la oriente hacia el sur, a través de una serie de islotes o mesetas alineadas N-S, que posiblemente actúan como vertederos naturales subterráneos. Más al sur, la sierra "El Novillo" (Figura 2) forma otro control sobre el agua y genera a ambos lados sendos abanicos, que se asocian a amplias zonas de infiltración, cosa que no sucede al pie de dicha sierra. En la región de El Triunfo (Figura 2) la zona de captación es reducida, al angostarse la cordillera, sin embargo, la zona de infiltración es amplia.

En la extrema porción sur la situación cambia, la zona de captación crece y las pendientes son pronunciadas, no obstante la zona de infiltración disminuye. El escurrimiento se ve controlado por dos grandes cauces, La Muela y El Arroyo Grande (Figura 2), las condiciones en el área de captación son semejantes a las ya descritas en el norte, de amplio fracturamiento.

En la franja II región norte, se localiza la planicie aluvial que capta y almacena parte del agua que desciende de la cordillera. El dren de la franja es en dos direcciones: hacia la Ensenada

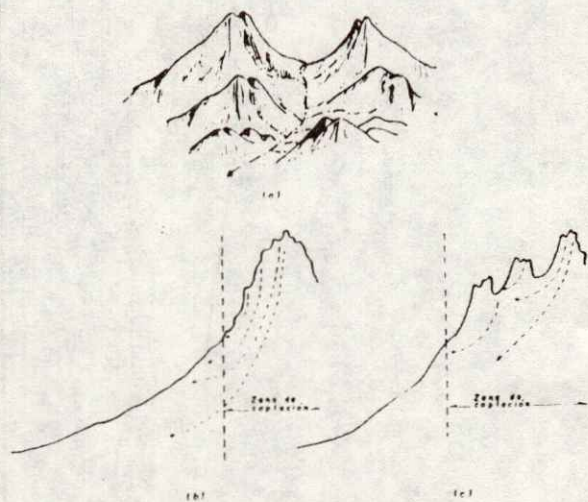


Figura 5. La infiltración en una región con relieve montañoso.

de La Paz, fundamentalmente a través del cauce del arroyo La Paz y al Océano Pacífico por el cauce del arroyo El Carrizal.

El valle "El Carrizal", por su extensión, promete ser una enorme área de acumulación de material con gran potencial para almacenar agua, la región sur del mismo muestra un gran abanico que pudiera ser favorable para la infiltración.

En la franja III al oeste, la zona de captación se localiza sobre rocas sedimentarias, las elevaciones son bajas, del orden de 200-300 m y el área pequeña; la infiltración ocurre en gran parte sobre una zona de infiltración amplia y porosa, si la lluvia es prolongada no hay componente de retraso que dé lugar a manantiales y la infiltración, si ocurre, es más bien vertical.

#### LITERATURA CITADA

**BROWN, E.W. y R.S. WATERS.** 1974. Progress in Geomorphology, British Geomorphological Research Group.

**BUTZER, K.W.** 1980, Geomorphology from the Earth, The University of Chicago, Harper & Row, Publishers, Chicago, Ilin.

**CRTP (Centro Regional Tropical Puyacatengo).** 1978, Fisiografía Geología, Universidad Autónoma de Chapingo, Edo. de Mex.

**FREEZE y CHERRY.** 1979, Groundwater, prentice-Hall, N.Y., 604 pp

**GEOCIENCIA.** 1984, UABCS, Estudio climatológico del Valle de La Paz-El Carrizal, inédito, La Paz, B.C.S.

**GUERRA, P.F.** 1980, Fotogeología, Facultad de Ingeniería, UNAM, Mex. D.F.

**HUBP, J.L. y L.V.M. MARTINEZ.** 1980, La Disección del Relieve en el Sur de la Cuenca de México y Porciones Adyacentes, Boletín No. 10, Instituto de Geografía, UNAM, México, D.F.

**HUBP, J.L. ET AL.** 1981. La Disección del Relieve en la Porción Central Oriental del Sistema Volcánico Transversal, Boletín No. 11, Instituto de Geografía de la UNAM, Mex., D.F.

**HUBP, J.L.** 1981, La Relación con la Geomorfología de Algunos Yacimientos Hidrotermales Mexicanos, AIMMGM, Acapulco, Gro., Mem. Tec. XIV, Instituto de Geografía, UNAM, México, D.F.

**KOSTENKO, P.N.** 1975, Geomorfología Estructural, Instituto de Geografía, UNAM, México, D.F.

**INGESA.** 1971, Estudio Geohidrológico de las valles de La Paz y El Carrizal, en el Territorio de Baja California, D.F.

**MORENO, O.C.A.** 1982, Fundamento de Geomorfología Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (UAAAN), Div. de Ing. Dpto. de Suelos. 95 pp.

**SARH.** 1976, Atlas del Agua en la República Mexicana, Mex., D.F.

**T.M.I.** 1976, Estudio Geohidrológico del valle "El Carrizal", Edo. de B.C.S.

**T.M.I.** 1979, Estudio Geohidrológico del valle "El Coyote" en el Edo. de B.C.S.

## EFICIENCIA DEL AGUA DE RIEGO EN MAIZ Y FRIJOL, CON APROVECHAMIENTO DEL AGUA DE LLUVIA EN DIFERENTES FECHAS DE SIEMBRA

Water-use Efficiency for Corn (*Zea mays*) and Beans (*Phaseolus vulgaris*), using Available Precipitation in Six Sowing-times.

José Verástegui Ch.

INIFAP-CAEZAC, Apartado Postal 18, 98500 Calera de V.R., Zac.

### RESUMEN

Una alternativa para reducir la extracción de los volúmenes de riego en los Valles Centrales de Zacatecas, es aprovechar más eficientemente el agua de lluvia durante el ciclo del cultivo. El objetivo del presente estudio fue determinar la fecha de siembra más eficiente en la transformación de agua de riego a producción en maíz y frijol. Este trabajo se realizó en terrenos del Campo Agrícola Experimental de Zacatecas durante 1984. Se evaluaron dos genotipos de maíz (VS-202 y H-220), y tres de frijol (Bayo Río Grande, Flor de Mayo y Negro Zacatecas), establecidos en seis fechas de siembra. El volumen de agua de riego consumido se obtuvo del balance del agua en el suelo.

Se evaluó el contenido de humedad en el suelo y al final se cuantificó el rendimiento de los cultivos. La producción en grano disminuyó conforme la fecha de siembra fue más tardía; el comportamiento de esta reducción fue similar a la reportada en trabajos anteriores. La lámina de riego utilizada fue menor cuando los cultivos se sembraron en la

segunda quincena de mayo, esta reducción se debió principalmente a la presencia de lluvia durante el ciclo del cultivo. Al considerar la eficiencia en el uso de agua de riego los valores más altos, tanto para maíz como para frijol, se presentaron durante la segunda quincena de mayo.

Palabras clave: Balance de agua, Eficiencia de riego, Evapotranspiración.

### SUMMARY

An alternative to reduce water extraction from wells and reservoirs in the Central Valley of Zacatecas is to use available rainwater during the crop's growth period. The objective of this study was to determine the water-use efficiency for corn and beans at six sowing times. These experiments were carried out at Calera, Zacatecas, in 1984. Three bean varieties (Bayo Rio Grande, Flor de Mayo, and Negro Zacatecas), a corn hybrid (H-220) and a synthetic variety (VS-202) were evaluated. The volume of water consumed during irrigation was obtained from the soil-water balance. The yield reduction decreased on late sowing-times and a lower yield reduction was observed at early sowing times. A similar trend has been reported in previous work. The maximum reduction of the irrigation-depth for both

crops was on late May plantings. This reduction was a result of rainfall occurring during the growing period of the corn and bean crop. The water use efficiency was better for sowing times in late May.

Index words: Water balance, Water-use efficiency, Evapotranspiration.

## INTRODUCCION

El objetivo principal del riego es compensar los déficits de humedad en el suelo que ocurren durante el período vegetativo del cultivo (FAO, 1975). El balance entre el agua disponible para riego y el agua necesaria para la producción agrícola, es la base de la planeación del riego (Palacios, 1977). En esta planeación es importante conocer el patrón de lluvias y otras variables climáticas.

Una manera para estimar las necesidades de agua por los cultivos es el concepto de balance hídrico. Esta técnica tiene un valor potencial en el país, ya que puede ser usada en hidrología, en la optimización de las operaciones de riego y en la calendarización de los cultivos de temporal (Canales, 1981).

La evapotranspiración es el punto más importante en el balance y se ve afectada por factores externos y de la planta (Ekern *et al.*, 1967; Gates y Hanks, 1967; Penman *et al.*, 1967). Existen tres tipos de metodologías para determinar la evapotranspiración (Tanner, 1967); la elección del método depende del objetivo de estudio ya que cada método varía en el período de tiempo para el cual hace los cálculos, costo y precisión.

Actualmente se dispone de tres tipos de modelos de simulación para el sistema agua-suelo-planta: 1) para la evaluación de cuencas hidrológicas, 2) los que analizan básicamente la relación del sistema, y 3) los que evalúan el comportamiento de un cultivo en especial (Rojas y Palacios, 1979). Por lo general, estos modelos son usados para la programación de riegos (Jensen y Heermann, 1970). Se considera que en zonas semiáridas, la lluvia

tiene poco efecto sobre la predicción de la fecha de riego (Heermann y Jensen, 1970). En algunos modelos se incluyen la probabilidad de ocurrencia de la precipitación en la planeación de riego (Jensen y Heermann, 1970).

Con base en lo anterior se realizaron dos experimentos, uno de maíz y otro de frijol, donde se evaluaron seis fechas de siembra, con el objetivo de determinar la lámina mínima de riego requerida por las plantas establecidas en esas seis fechas de siembra y la eficiencia de uso del agua de riego. Las hipótesis fueron: 1) el volumen del agua de riego es menor cuando el ciclo del cultivo coincide con la presencia de lluvias, 2) el rendimiento es igual en todas las fechas de siembra.

## MATERIALES Y METODOS

### Localización de los Experimentos

El trabajo de campo se desarrolló en los terrenos del Campo Experimental de Zacatecas (INIFAP), situado en el kilómetro 24.5 de la carretera Zacatecas-Fresnillo. El terreno se localiza en la latitud norte 22°54'30" y en la longitud oeste 102°39'33", su altitud es de 2,197 msnm. Los suelos tienen una textura franco arcillo-arenosa; pobres en materia orgánica y de baja fertilidad.

### Factores y Diseño Experimental

En este trabajo se evaluó el rendimiento de maíz y frijol establecido en seis fechas de siembra (18 y 30 de abril; 14 y 28 de mayo; 12 y 29 de junio de 1984). Se sembraron dos genotipos de maíz: VS-202 y H-220 y tres de frijol: Bayo Río Grande, Flor de Mayo y Negro Zacatecas. El diseño experimental fue un factorial en bloques al azar.

### Conducción del Experimento

Al momento de la siembra el maíz se fertilizó con la dosis 60-60-00 (N-P-K). Al momento de la primera escarda se aplicaron 60 kg/ha de nitrógeno al maíz. La densidad de

plantación en frijol fue de 110,000 plantas/ha y en maíz de 30,000 plantas/ha, aproximadamente. El volumen y el momento del riego se aplicaron de acuerdo al programa estructurado con las relaciones propuestas por Palacios (1979). Se determinó el contenido de humedad en el suelo por el método gravimétrico para las diferentes fechas de siembra y se evaluó el rendimiento de los cultivos cuando éstos alcanzaron su madurez.

### Análisis de la Información

Con la información obtenida de la producción de grano en los dos cultivos se procedió a realizar el análisis de varianza, además se determinó la eficiencia en el uso del agua expresada como la producción de grano obtenida por unidad de agua de riego.

### Modelo de Simulación

El modelo empleado en este trabajo fue propuesto por Palacios (1979) y validado en la localidad por Verástegui (1987). Este modelo está basado en el balance del agua en el suelo; considera las entradas de agua al suelo (precipitación y/o riego), mientras que en las salidas de agua del suelo toma en cuenta sólo la evapotranspiración (ET<sub>i</sub>).

Una vez determinada la ET<sub>i</sub> se realiza el balance del agua en el suelo; este balance se estima con la relación:

$$CHS_i = CHS_{i-1} + R_i + Pr_i - ET_i$$

donde:

CHS<sub>i</sub> = contenido de humedad actual  
 CHS<sub>i-1</sub> = contenido de humedad anterior  
 R<sub>i</sub> = lámina de riego  
 Pr<sub>i</sub> = lámina de lluvia  
 ET<sub>i</sub> = evapotranspiración en el i-ésimo intervalo.

Para determinar el momento de riego éste debe aplicarse cuando en el suelo se ha consumido una cantidad de agua de tal manera que la planta no presente déficit hídrico. Al

contenido de humedad en el suelo que cumple la condición anterior se le conoce como humedad aprovechable residual (HAR).

De tal manera que el riego se aplica cuando el contenido de humedad aprovechable en el suelo (HA) es menor o igual a HAP (HA ≤ HAP). Considerando que el agua fácilmente disponible en el suelo se encuentra entre el rango de 1.0 y 0.3 de la humedad aprovechable y que la mayoría de los cultivos no debe ser sometida a altas tensiones de humedad en el suelo, se usaron los valores de HAP que se presentan en el Cuadro 1.

## RESULTADOS Y DISCUSION

### Producción Maíz

En el Cuadro 2 se presenta la producción promedio de maíz para cada fecha de siembra. Si se considera el promedio de todas las fechas de siembra, el rendimiento del genotipo VS-202 (6.11 ton ha<sup>-1</sup>) resultó significativamente superior al del híbrido H-220 (5.41 ton ha<sup>-1</sup>) en aproximadamente 700 kg ha<sup>-1</sup>. Mientras que los rendimientos alcanzados al modificar la fecha de siembra se distribuyeron en cuatro grupos estadísticamente diferentes entre sí; el primer grupo, cuya producción fue la más alta, y que estuvo formado por las fechas de siembra abril 18, abril 30 y mayo 14, presentó producciones que variaron entre 6.51 y 7.42 ton ha<sup>-1</sup>. El segundo grupo, dentro del cual se encuentran las fechas de siembra abril 30, mayo 14 y mayo

Cuadro 1. Valores de humedad aprovechable permisible (HAP), por etapa de desarrollo de los cultivos, empleados en el modelo.

Etapa	HAP
	%
Siembra a inicio de flor	0.3
Floración	0.6
Final de flor a maduración	0.3



Cuadro 2. Producción promedio de grano en maíz ton ha<sup>-1</sup>, por fecha de siembra y genotipo.

Fecha de siembra	Genotipo		
	VS-202	H-220	Promedio
Abril 18	7.57	7.28	7.42
Abril 30	7.03	6.55	6.79
Mayo 14	6.68	6.33	6.51
Mayo 28	6.39	5.42	5.90
Junio 12	5.07	4.30	4.69
Junio 29	3.91	2.61	3.26
Promedio	6.11	5.41	

28, tuvo una producción entre 5.90 a 6.79 ton ha<sup>-1</sup>. Por último las fechas de siembra junio 12 y junio 29 rindieron 4.69 y 3.26 ton ha<sup>-1</sup>, respectivamente. Como es notorio en Cuadro 2, existe una reducción en la producción conforme la fecha de siembra se hace más tardía; esta reducción llega a ser de un 56.09%, al comparar las producciones de abril 18 y junio 29. Lo anterior es similar a la información reportada por Hurtado y Luna (1974).

### Producción Frijol

Esta variable se vio afectada por una interacción de fecha de siembra x genotipo, por lo que, en forma general, no puede mencionarse cual fue la mejor fecha de siembra ni el mejor genotipo para frijol.

La producción promedio de grano en frijol se reporta en el Cuadro 3. La producción frijol, en las siembras que se realizaron después del 28 de mayo, presentó una tendencia a la disminución, mientras que la correspondiente a las fechas de siembra abril 18, abril 30 y mayo 14, se mantuvo estable en los tres genotipos. Esta disminución en la producción coincide con la información obtenida en ciclos anteriores (Velo y Alvarado, 1976).

Cuadro 3. Producción promedio de grano en frijol ton ha<sup>-1</sup> por fecha de siembra y genotipo.

Fecha de siembra	Bayo	Flor de	Negro	Promedio
	Rio Grande	Mayo	Zacatecas	
Abril 18	3.69	3.00	3.33	3.34
Abril 30	3.02	2.79	3.07	2.96
Mayo 14	3.27	2.77	3.28	3.11
Mayo 28	3.31	2.53	2.81	2.81
Junio 12	3.04	1.97	2.22	2.41
Junio 29	1.99	1.52	1.47	1.66
Promedio	3.05	2.43	0.90	

### Volumen de Riego

En el Cuadro 4 se presentan los valores del volumen de riego y la precipitación infiltrada (precipitación efectiva) en maíz y frijol, para cada fecha de siembra. En el volumen de riego no se incluye el agua necesaria para dar el riego de siembra, pues éste puede variar de acuerdo a la humedad antecedente en el suelo.

El volumen de riego estuvo asociado a la precipitación ocurrida durante el ciclo del cultivo. Esta relación es inversa. Es decir, a menor cantidad de lluvia, el volumen de riego necesario por los cultivos fue mayor y viceversa.

Cuadro 4. Volumen de riego efectivo m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> y lluvia efectiva (mm), en cada fecha de siembra.

Fecha de siembra	Maíz		Frijol	
	Vol.	Lluvia	Vol.	Lluvia
	m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup>	mm	m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup>	mm
Abril 18	2720	211.9	3460	167.2
Abril 30	2500	208.7	3320	234.5
Mayo 14	1950	220.6	2200	240.1
Mayo 28	1690	237.2	2060	274.6
Junio 12	2100	232.1	2340	236.4
Junio 29	2015	154.5	2250	167.7

Cuadro 5. Eficiencia en el uso del agua de riego  $\text{kg m}^{-3}$  en maíz.

Fecha de siembra	VS-202	H-220
Abril 18	2.79	2.68
Abril 30	2.81	2.62
Mayo 14	3.43	3.25
Mayo 28	3.78	3.20
Junio 12	2.41	2.05
Junio 29	1.95	1.30

Otro punto importante de señalar es que la cantidad de lluvia efectiva para el cultivo dependió de la fecha de siembra y por consecuencia el volumen de riego dependió de la fecha de siembra. Las fechas de siembra con menor volumen de riego fueron en maíz y frijol, mayo 14 y mayo 28, respectivamente.

#### Eficiencia en el Uso de Agua

La eficiencia en el uso del agua de riego ( $\text{kg m}^{-3}$ ), para cada genotipo, se presenta en los Cuadros 5 y 6. Esta fue similar en cada genotipo y especie. Se presentan cuatro fechas con valores bajos de este parámetro y son las siembras "tempranas" (abril 18 y abril 30) y las tardías (junio 12 y junio 29). Hubo dos fechas

Cuadro 6. Eficiencia en el uso del agua de riego  $\text{kg m}^{-3}$  en frijol.

Fecha de siembra	Bayo Rio Grande	Flor de Mayo	Negro Zacatecas
Abril 18	1.07	0.87	0.96
Abril 30	0.91	0.84	0.93
Mayo 14	1.49	1.26	1.49
Mayo 28	1.61	1.23	1.36
Junio 12	1.30	0.84	0.95
Junio 29	0.89	0.68	0.65

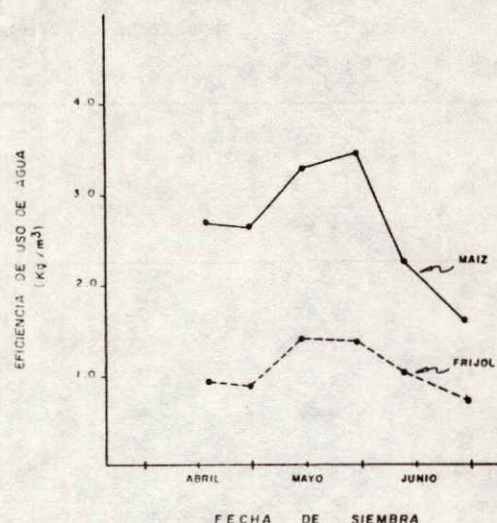


Figura 1. Eficiencia promedio en el uso del agua ( $\text{kg m}^{-3}$ ) en maíz y frijol para las seis fechas de siembra.

de siembra (mayo 14 y mayo 28) donde ocurrió la mayor eficiencia en el uso del agua. Esto se atribuye, aun cuando la producción no fue superior en estas fechas, al aprovechamiento del agua de lluvia durante el ciclo del cultivo.

En la Figura 1 se graficó la eficiencia promedio en el uso del agua para maíz y frijol en las seis fechas de siembra. En esta figura se aprecia que el maíz fue más eficiente en el uso del agua que el frijol, en todas las fechas de siembra.

#### CONCLUSIONES

Con la información obtenida en este trabajo se concluye lo siguiente.

1. La producción de maíz y frijol se reduce conforme la fecha de siembra se hace más tardía.
2. La presencia de lluvia reduce la cantidad de agua de riego, en maíz y frijol.
3. La eficiencia en el uso del agua de riego es más alta en las siembras de mayo 14 y mayo 28.

4. El maíz presenta mayor eficiencia en el uso del agua que el frijol.

#### LITERATURA CITADA

**CANALES, R.J.** 1981. Estudio sobre la evaporación y sus aplicaciones. 2 series reporte técnico. Area/Agroclimatología. Dirección General del Servicio Meteorológico Nacional. México.

**EKERN, P.C. JR, J.S. ROBINS y W.J. STAPLE.** 1967. Soil and cultural factors affecting evapotranspiration, pp. 522-533. *In: Irrigation of agricultural lands.* American Society of Agronomy. Madison, Wisconsin.

**FAO.** 1975. Las necesidades de agua en los cultivos. Estudio FAO: Riego y Drenaje 24. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Roma. p. 116.

**GATES, D.M. y R. J. HANKS.** 1967. Plant factors affecting evapotranspiration, pp.506-521. *In: Irrigation of Agricultural Lands.* American Society of Agronomy. Madison, Wisconsin.

**HEERMANN, D.F. y M.E. JENSEN.** 1970. Adapting meteorological approaches in irrigation scheduling to high rainfall areas. Proceedings of the National Irrigation Symposium. Nov. 10-13, 1970. Lincoln, Neb. pp. 00-1; 00-10.

**HURTADO DE LA P. y M. LUNA.** 1974. Estudio de cuatro fechas de siembra en maíces comerciales bajo condiciones de riego. Informe de investigaciones agrícolas. Ciclo 1974. Tomo Agricultura de riego. SAG-INIA-CIANOC-CEZAC. pp. 10.20-10.29.

**JENSEN, M.E. y D.F. HEERMANN.** 1970. Meteorological approaches to irrigation scheduling. Proceedings of the National Irrigation Symposium. Nov. 10-13, 1970. Lincoln, Neb. pp. NN1-NN11.

**PALACIOS, E.** 1977. Introducción a la teoría de la operación de Distritos y Sistemas de Riego. Rama de riego y drenaje. Colegio de Postgraduados. México p. 28.

**PALACIOS, E.** 1979. Estimación de los requerimientos de agua de los cultivos para conocer cuándo regar. Resúmenes XII Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo. México.

**PENMAN, H.L., D.E. ANGUS y C.H.M. VAN BAVEL.** 1967. Microclimatic factors affecting evaporation and transpiration, p. 483-505. *In: Irrigation of agricultural lands.* American Society of Agronomy. Madison, Wisconsin.

**ROJAS, M., A. y E. PALACIOS.** 1979. Modelo de simulación digital del sistema Suelo-Planta-Atmósfera para estimar rendimientos de los cultivos. *Agrociencia* 38: 17-33.

**TANNER, C.B.** 1967. Measurement of evapotranspiration, p. 534-574. *In: Irrigation of Agricultural lands.* American Society of Agronomy. Madison, Wisconsin.

**VELO, F.G. y D. ALVARADO.** 1976. Evaluación de doce variedades de frijol sembradas en cuatro fechas de siembra bajo condiciones de riego. Informe de investigación agrícola. Agricultura de Riego. Ciclo 1975. SAG-INIA-CIANE-CAEZAC. pp. 9.27-9.33.

**VERASTEGUI, J.** 1987. Evaluación de un modelo de simulación de la evapotranspiración en maíz y frijol, con fines de programación de riego en Calera, Zac. *Agric. Téc. Méx.* 13(1):15-39.

**AGRUPACION DE AMBIENTES AGRICOLAS DE LOS VALLES CENTRALES DE OAXACA  
CON BASE EN INFORMACION DE SUELO Y CLIMA.**

Agricultural Environments of the Oaxaca Central Valley based on Soil and Climatological Data.

**Octavio Pérez-Zamora.**

INIFAP-Tecomán. Campo Experimental Tecomán, Apartado Postal 88, 28100 Tecomán, Colima.

**RESUMEN**

Durante 1984 se colectó, analizó e interpretó la información de los registros diarios de ocho estaciones termopluviométricas de los Valles Centrales de Oaxaca. La información se utilizó para agrupar mediante metodologías de análisis y cálculos de probabilidades de lluvia y balances hídricos, áreas con potencial agrícola similar. La información interpretada permitió identificar un gradiente climático de sur a norte de los Valles Centrales. La extensión de temporada de lluvias varió de 18 semanas en el sur (Miahuatlán) a 23 semanas en el norte (Guadalupe Etla) en un transecto menor de 100 km. El análisis de la información mostró que los cultivos de ciclo largo (135-140 días) tienen probabilidades de sufrir de falta de agua. Este déficit resulta más acentuado durante las semanas 26 a 32 (6 de agosto al 9 de septiembre). Los ambientes más críticos con referencia a la falta de humedad son Miahuatlán y Ocotlán y los que cuentan con mejores condiciones son San Miguel Ejutla y Guadalupe Etla.

Palabras clave: Probabilidad condicional, Transecto de suelo, Balance de agua.

**SUMMARY**

Daily climatic data from the Central Oaxaca Valley were collected from eight weather stations in 1984; the information was used to group environmental sites by means of methodologies consisting of analysis of data, probability of rainfall and groundwater storage. A climatic gradient was found from south to north, rainfall decreases going south of the Central Valley. The length of the rainfall season was 18 weeks in the southern part of the valley, while in the north it was 23 weeks. This change took place within a distance shorter than 100 km, and in flat land. Information also showed that crops, having 135-140 days length from planting to harvesting have high chances of failure related to lack of moisture. This shortage of water was critical during 26 to 32 standard weeks (August 6th to September 9th). Miahuatlan and Ocotlan were most critically affected by lack of water; San Miguel Ejutla and Guadalupe Etla were affected to a lesser extent.

Index words: Conditional probability, Soil transect, Water balance.

## INTRODUCCION

Una situación muy común en los programas de mejoramiento genético es la introducción y prueba de cultivares en zonas con diversidad de ambientes edafoclimáticos. Sin embargo, resulta una decisión difícil la selección de sitios o localidades experimentales que puedan ser interrelacionadas con los resultados obtenidos. La causa de lo anterior es la carencia de datos base de suelo y clima que proporcione información sobre recurrencia de periodos de sequía, probabilidad de lluvia y capacidad de almacenamiento del perfil del agua, entre otros. Pocos, o más bien raros, son los reportes de investigación que estén acompañados de dicha información de apoyo.

Las ventajas que se tienen al agrupar ambientes similares es el de establecer un número de ensayos experimentales en más sitios representativos con una mayor eficiencia en recursos humanos y económicos. También podría especificarse el rango de adaptación de los cultivos así como identificar problemas que no hayan sido detectados previamente.

El propósito de este estudio fue utilizar metodologías para cuantificar la probabilidad de lluvia y la dinámica del agua en términos agronómicamente relevantes que permitieran además agrupar localidades con potenciales agrícolas similares.

## REVISION DE LITERATURA

Virmani *et al.* (1982) indicaron que un entendimiento completo y cuantitativo de las variaciones en los recursos naturales suelo y agua en tiempo y espacio es requerido para incrementar la producción agrícola. Por otro lado, Ramírez (1983) y Maldonado (1983) coinciden en señalar que el estado de Oaxaca, debido a la influencia orográfica, tiene una gran variedad de patrones de precipitación. En opinión de Ramírez (1983) el potencial de producción agrícola de Oaxaca está determinado por la alta demanda evaporativa y por

variaciones en la oportunidad y cantidad de la precipitación.

Según Virmani *et al.* (1982), las probabilidades de precipitación pueden ser utilizadas para un gran número de propósitos como la planeación del uso de la tierra, selección de sitios experimentales y de patrones de cultivo. Las metodologías involucradas en tales propósitos pueden servir de auxiliar en la validación y transferencia de la tecnología generada (Swindale, 1980; Zandstra, 1978).

El procedimiento utilizado en los cálculos de probabilidades de lluvia es una cadena de Markov Regular y de Primer Orden. También denominada "probabilidad inicial y condicional" por Robertson (1976) y por Virmani *et al.* (1982). Bajo este contexto los investigadores arriba indicados examinan la probabilidad de lluvia de la próxima semana si ya se tuvo lluvia en esta semana  $P(H/H)$  y la probabilidad de lluvia la próxima semana si la presente fue seca  $P(H/S)$ .

Por otra parte, las propiedades del suelo afectan la retención de humedad, el escurrimiento y el drenaje (Russell, 1980); en consecuencia, al establecer el balance hídrico debe considerarse al suelo como parte del sistema. Esto con base en que la demanda evaporativa atmosférica es continua y que el suelo sirve como medio de almacenamiento para cubrir la discontinuidad de agua durante la ausencia de precipitación.

## MATERIALES Y METODOS

Durante 1984 se colectó, analizó e interpretó la información de los registros diarios de ocho estaciones termopluviométricas de los Valles Centrales de Oaxaca (Cuadro 1). La información fue procesada en una computadora CYBER 170/720 de la SARH, acorde a programas de cómputo para probabilidades de lluvia suministrados por el International Crops Research Institute for the Semiarid Tropics (ICRISAT). Los análisis efectuados fueron: (1) probabilidades de lluvia iniciales  $P(H)$  y

Cuadro 1. Características de las estaciones meteorológicas donde se calcularon las probabilidades iniciales y condicionales en 1984.

No.	Estación	Lat (N)	Long (O)	Elevación m	Años de registro
1	Miahuatlán	16°19'47"	96°35'38"	1515	22
2	San Miguel Ejutla	16°34'47"	96°44'15"	1360	24
3	Sta. Ana Tlapacoyan	16°44'13"	96°49'46"	1465	10
4	Ocotlán	16°47'27"	96°40'14"	1460	23
5	Zimatlán	16°52'27"	96°45'14"	1501	12
6	San Bartolo Coyotepec	16°57'25"	96°42'03"	1460	13
7	Santo Domingo	17°10'	96°48'	1640	8
8	Guadalupe Etla	17°10'36"	96°48'37"	1430	21

condicionales a intervalos semanales  $P(H/H)$ ; (2) estimación de precipitación a un nivel de probabilidad preestablecido y (3) balances hídricos semanales. En el cálculo de probabilidades condicionales supóngase que se tienen dos fenómenos: (1) sequía (no lluvia) en el periodo  $i$  que denotamos como  $S_i$ ; (2) condición húmeda (lluvia) al periodo  $j$ , que denotamos como  $H_j$ . Entonces:

$$P(H_j) = \frac{N(H_j)}{N}$$

$$P(S_j) = \frac{N(S_j)}{N}$$

y

$N = N(H_j) + N(S_j)$  son conocidas

donde:

$N(H_j)$  = número de ocurrencias de lluvia en el periodo  $j$ .

$N(S_j)$  = número de ocurrencias de sequía en el periodo  $j$ .

También, por supuesto, conocemos la probabilidad de un periodo seco ( $i$ ), dado un periodo húmedo ( $j$ ):  $[P(S_i/H_j)]$ .

Entonces, ¿cómo cambia la probabilidad de  $H_j$  con la información adicional de que  $S_i$  ha ocurrido? Esto se puede escribir como sigue:

$$P(H_j/S_i) = \frac{[P(H_j) P(S_i/H_j)]}{P(S_i)} = \frac{P(H_j \cap S_i)}{P(S_i)} =$$

$$\frac{N(H_j \cap S_i)}{N(S_i)}$$

Balances Hídricos Semanales

En este trabajo se utilizó el modelo de balance de agua de Keig y McAlpine (1974) que toma en consideración la capacidad máxima de

almacenamiento del suelo, y una vez que éste está totalmente recargado calcula el escurrimiento y el drenaje. Para el perfil de suelos del área (Feozem) una capacidad máxima de 150 mm fue considerada; se asumió un 90% de infiltración.

Cuadro 2. Características de tipos de suelo existentes en los Valles Centrales de Oaxaca en 1984.

Suelo (Cat.sup)		Litsoles	Cambisoles	Luvisoles	Feozem
Color	Suelo	10 YR 3/3	10 YR 3/4	10 YR 4/4	10 YR 3/3
	Subsuelo	10 YR 5/4	10 YR 2/2	10 YR 3/4	10 YR 3/2
Textura	Suelo	Am	A 40%	Am	Ma
	Subsuelo	A	Mra	Ma	Ar
Profundidad (cm)		20	32	125	70
Drenaje	Suelo	Muy lento	Bueno	Bueno	Bueno
	Subsuelo		Bueno	Bueno	Bueno
Pendiente %		13	3	3	1
Estructura	Suelo	Granular 1	Granular	Granular (2)	Granular (1)
	Sub-suelo	Sin estructura	Sin estructura	lsbk	lsbk
pH	Suelo	7.40	6.81	7.03	6.62
	Subsuelo	6.95	6.90	7.15	6.70
MO (%)	Suelo	0.81	1.00	0.87	1.91
	Subsuelo	1.30	0.94	0.94	1.31
Agua aprov. (mm)		50	75	100	150
Erosión		Fuerte	Laminar moderada	Moderada	Nula
Indice Productividad (%)		6.24	17.68	34.2	56.8

Fuente: Taller de metodologías para el reconocimiento e inventario del recurso suelo. Oaxaca, Oax. Mayo 1984.

### Suelos del Area

Los Valles Centrales de Oaxaca se caracterizan por tener diversidad de suelos, entre los cuales se mencionan los Feozems, Cambisoles, Luvisoles y Litosoles como los principales tipos de suelos. Las características de los cuatro tipos de suelos se resumen en el Cuadro 2.

## RESULTADOS Y DISCUSION

### Agrupación de Ambientes

En el Cuadro 3 se observan los registros climatológicos analizados para probabilidades de 10, 20, 30, 40 y 50 mm de precipitación. Para el resto de las estaciones termopluviométricas se hizo el mismo procesamiento de la información que para Miahuatlán. Basados en la probabilidad de ocurrencia de 10 mm de precipitación en dos semanas consecutivas, los datos son divididos en temporada de sequía (probabilidades de 0.16 a 0.45) y temporada de lluvias (probabilidades de 0.46 a 1.0).

La información climática, tal como se muestra en el Cuadro 3, puede utilizarse para agrupar ambientes o regiones similares, ya que cualquier otro tipo de análisis no proporciona información sobre la continuidad de la lluvia o periodos de canícula.

Presumiblemente, todas las estaciones estudiadas son ecológica- y edáficamente similares, ya que se encuentran enmarcadas en una distancia de 120 km y a una longitud similar; las variaciones altitudinales son de 100 m o menores. Además, tienen los mismos suelos, Feozem de profundidad media. En consecuencia serían de esperar potenciales agrícolas muy similares; sin embargo, a pesar de lo corto del transecto (aproximadamente 120 km) se observó gran variación en cuanto a la confiabilidad de la precipitación (PC) y duración de la temporada de lluvia en semanas.

Al clasificar los ambientes con base en la información de continuidad de la

precipitación P (H/H) resultó que el periodo más probable para el inicio de la temporada de lluvia (10 mm o más) fue en las semanas 21 (21-27 mayo), 18 (30 abril-6 mayo), 19 (7-13 mayo) y 21, para las estaciones de Miahuatlán, Guadalupe Etna, San Miguel Ejutla y Ocotlán, respectivamente. Por otra parte, la duración de la estación lluviosa tiene una extensión de 18, 23, 20 y 19 semanas para las estaciones indicadas anteriormente. Los resultados obtenidos se resumen en el Cuadro 4.

De la información del Cuadro 4 son de esperar implicaciones con respecto a la adaptación de cultivos debido a las diferencias en patrones de precipitación. Esto ha sido detectado en estudios de fertilización conducidos en el área. Por otra parte, la metodología también permite separar áreas con aparente nivel de producción similar. Por ejemplo, Miahuatlán y Ocotlán tienen similar extensión de temporada de lluvia, 18 y 19 semanas, respectivamente; sin embargo, la confiabilidad de la precipitación es mayor en Ocotlán.

En conclusión es posible agrupar a las áreas con mayor potencial agrícola en los Valles, Guadalupe Etna y San Miguel Ejutla.

### Balance Hidrico Semanal

Los niveles de agua almacenada en el perfil del suelo (Figuras 1, 2, 3, 4) corresponden a valores de retención media y resultaron similares a los reportados por Virmani (1975) y May *et al.* (1979). Estos investigadores asignan un valor medio a vertisoles poco profundos (100 a 150 mm/M). Como referencia un valor alto es de 300 mm/M y uno bajo de 50 mm/M (Virmani, 1975).

En las Figuras 1, 2, 3 y 4 el requerimiento de agua de cultivos de 100 días, expresado como la proporción de evapotranspiración actual ( $E_o$ ) sobre evapotranspiración potencial (ETP) de cada una de las etapas fenológicas se superimpuso sobre un histograma de agua disponible en el perfil del suelo. Esta última se expresó como la relación del agua estimada en mm por el método de Keig y McAlpine (AD) sobre la evapotranspiración potencial (ETP).



Esta clase de histogramas ha sido utilizada por Virmani (1975) para estimar la capacidad del suelo y clima de suministrar agua a las plantas.

Los requerimientos de agua Eo/ETP de cultivos de 100 días fueron seleccionados con base en las experiencias de adaptación y rendimientos de los cultivos reportados para

Valles Centrales de Oaxaca para ciclo largo (130 días); según indica la Guía para la Asistencia Técnica Agrícola en los valles indicados (SARH, 1983); otra razón es que si el agua es suficiente para cultivos de ciclo intermedio, también lo es para cultivos de 75-90 días (frijol, cacahuate).

Cuadro 3. Probabilidades de lluvia (%), iniciales y condicionales - para cantidades seleccionadas. Estación: Miahuatlán, Oaxaca. 1962-1983.

Semana	10 mm			20 mm			30 mm			40 mm			50 mm			Media (mm)
	H1 <sup>1)</sup>	H/H2 <sup>2)</sup>	H/S3 <sup>3)</sup>	H	H/H	H/S	H	H/H	H/S	H	H/H	H/S	H	H/H	H/S	
Pre-lluvia (61.9 mm)																
16	41	22	31	14	00	5	14	00	5	9	00	5	5	00	5	12.93
17	27	17	19	5	0	14	5	0	10	5	0	5	5	0	0	9.11
18	18	50	39	14	0	16	9	0	15	5	0	10	0	0	9	7.85
19	41	56	23	14	0	21	14	0	11	9	0	10	9	0	10	11.09
20	36	88	57	18	100	44	9	100	35	9	100	15	9	50	10	20.88
Lluvia (447.5 mm)																
21	68	60	29	55	17	40	41	22	8	23	0	12	14	0	11	28.32
22	50	64	55	27	50	31	14	67	16	9	100	5	9	100	5	15.29
23	59	77	33	36	75	43	23	60	47	14	33	21	14	33	16	22.47
24	59	100	78	55	100	60	50	73	55	23	80	53	18	75	44	24.48
25	91	85	50	82	50	75	64	29	50	59	31	33	50	9	9	39.62
26	82	61	50	55	17	50	36	25	21	32	29	23	9	0	10	25.75
27	59	85	33	32	57	13	23	20	12	18	0	11	9	0	5	18.93
28	64	64	63	27	67	31	14	67	26	9	50	20	5	100	5	19.62
29	64	64	50	41	78	23	32	43	20	23	40	24	9	50	10	25.16
30	59	54	33	45	20	25	27	33	13	27	33	6	14	33	0	22.05
31	45	90	33	23	60	24	18	25	17	14	33	11	5	0	10	13.16
32	59	69	33	32	43	20	18	50	17	14	67	5	9	0	5	18.88
33	55	75	50	27	50	38	23	40	18	14	33	11	5	0	10	17.12
34	64	86	50	41	89	54	23	100	35	14	100	16	9	100	10	26.95
35	73	75	33	68	60	29	50	64	27	27	83	6	18	75	6	37.57
36	64	71	25	50	27	18	45	30	17	27	17	13	18	0	6	30.18
37	55	42	70	23	20	47	23	0	24	14	0	21	5	0	19	17.17
38	55	67	50	41	56	46	18	50	28	18	0	22	18	0	22	22.55
39	59	38	0	50	27	9	32	14	7	18	25	6	18	0	0	22.25
Post-lluvia (18.4 mm)																
40	23	20	24	18	0	17	9	0	15	9	0	15	0	0	5	8.69
41	23	20	12	14	0	5	14	0	5	14	0	5	5	0	5	9.73

- 1) Probabilidad lluvia inicial.
- 2) Probabilidad lluvia cuando llovió la semana anterior.
- 3) Probabilidad lluvia cuando no llovió la semana anterior.

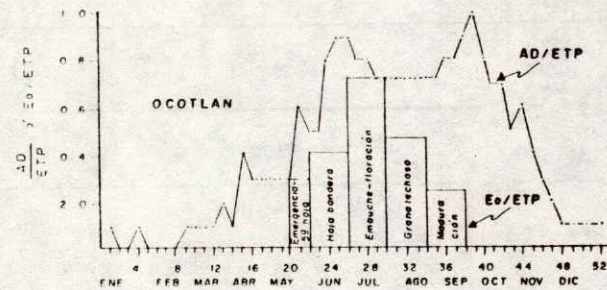
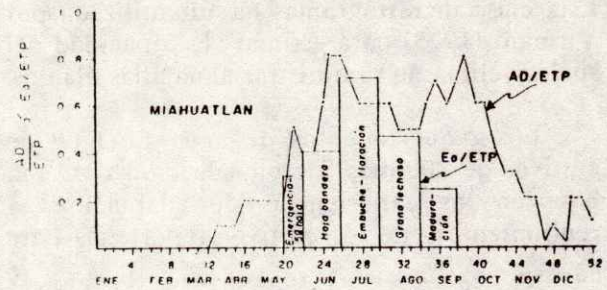
Cuadro 4. Precipitación anual (mm) al 75% de probabilidad y duración de la temporada de lluvias en los Valles Centrales de Oaxaca.

Localidad	Precipitación anual al 75% de probabilidad (mm)	Semanas que comprende la temporada de lluvias (número)
1. Miahuatlán	464	18
2. San Miguel Ejutla	582	20
3. Sta Ana Tlapacoyan	502	10 <sup>1)</sup>
4. Ocotlán	624	19
5. Zimatlán	585	19
6. San Bartolo Coyotepec	415	17
7. Sto. Domingo B. Bajo ETLA	457	4 <sup>1)</sup>
8. Guadalupe ETLA	602	23

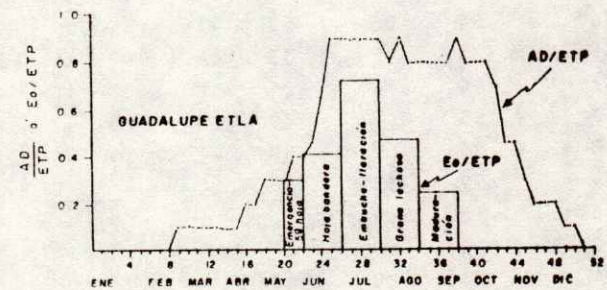
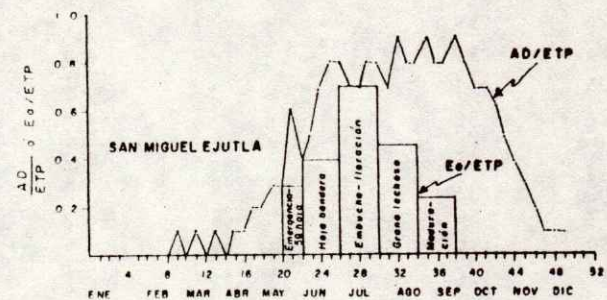
1) Estimación no confiable debido a lo corto del período del registro de la información climatológica.

Las Figuras 1, 2, 3 y 4 muestran que la disponibilidad de agua se torna crítica siete a ocho semanas después de la germinación; estas etapas corresponden a la iniciación floral de los cultivos intermedios. En dicho histograma si se superimpusieran las necesidades de agua Eo/ETP para cultivos de ciclo largo (130 días), se observaría que también dichos cultivos serían afectados por sequía 10 a 12 semanas después de la germinación; esto último es congruente con lo reportado en la Guía para la Asistencia Técnica para los Valles Centrales de Oaxaca (SARH, 1983).

La información de clima y suelo muestra que Miahuatlán (Figura 5) presenta las condiciones más críticas para cultivos de ciclo intermedio y largo, y que las variedades criollas utilizadas en la zona (ciclo 16.5 semanas) no serán fácilmente reemplazadas. El uso de estos histogramas corrobora lo enunciado en la



Figuras 1 y 2. Relación entre los requerimientos de agua (Eo/ETP) de un cultivo de sorgo y el agua disponible en el suelo (AD/ETP) en dos localidades en los Valles Centrales.



Figuras 3 y 4. Relación entre los requerimientos de agua (Eo/ETP) de un cultivo de sorgo y el agua disponible en el suelo (AD/ETP) en dos localidades en los Valles Centrales.

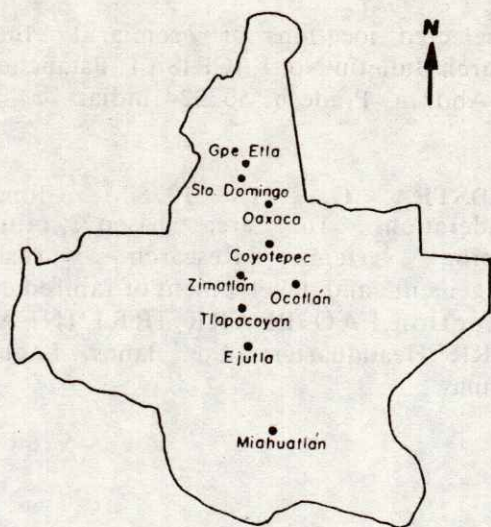


Figura 5. Localización de las estaciones meteorológicas estudiadas en los Valles Centrales de Oaxaca.

sección anterior y se nota que Guadalupe Etlá es una zona con mayor potencial en los Valles Centrales. También que existe un gradiente climático en el área, y tiene una dirección de sur a norte. En el sur las condiciones son más críticas, mientras que en el norte la extensión de la temporada de lluvias es mayor.

### CONCLUSIONES

1. La información de los registros de suelo y clima puede utilizarse para agrupar ambientes potenciales de producción agrícola, mediante el uso de metodologías de probabilidad de lluvia y balances hídricos.
2. Los cultivos de ciclo largo (130 días o más) tienen altas probabilidades de sufrir por falta de agua durante el periodo del 6 de agosto al 9 de septiembre, que corresponde a la etapa fenológica de floración e inicio de llenado de grano de las plantas de maíz.
3. La magnitud del problema resulta más crítica en el sur que en el norte de los Valles Centrales. La duración de la temporada de lluvias es de 18 semanas en el sur, mientras que en el norte es de 23 semanas.

4. La utilización de histogramas de uso de agua sobrepuestos a la de agua disponible en el perfil ofrece ventajas económicas y de tiempo, para la planeación e introducción de cultivos en una zona dada.

### LITERATURA CITADA

- KEIG, G., y J. R. McALPINE. 1974. WATBALL: A computer system for the estimation and analysis of soil moisture regimes from simple climatic data. Second Edition. Technical Memo, 74/4. CSIRO Aust. Div. of Land Res. pp. 45.
- MALDONADO, O.A. 1983. Los períodos de humedad edáfica deficiente en la porción istmica del Estado de Oaxaca. XVI Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo. Oaxaca, Oax. México 8-11 noviembre 1983.
- MAY, J.L.C., M.V.K. SIVAKUMAR y S.M. VIRMANI. 1979. Agricultural potential of Magarini in relation to climate and soils. ICRISAT, Patancheru, P.O. Andhra Pradesh 502324, India.
- RAMIREZ P., F. 1983. Uso consuntivo de cuatro cultivos en los Valles Centrales de Oaxaca. Resúmenes XVI Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo. Oaxaca, Oax. Méx. 8-11 noviembre 1983. p. 98.
- ROBERTSON, G.W. 1976. Dry and wet spell. UNDP/FAO, Tun Razak Agri. Res. Center, Sunge: Tekam, Malaysia - Project field report. Agrometeorology: A-6.
- RUSSELL, M.B. 1980. Profile moisture dynamics of soil in Vertisol and Alfisols. p. 75-87. In: Proceedings of the International Workshop on the Agroclimatological Research Needs of the Semiarid Tropics: 22-24 1978. ICRISAT, Patancheru, India.
- SARH. 1983. Guía para la asistencia técnica agrícola en el área de influencia Valles Centrales de Oaxaca. SARH. México.

**SWINDALE, L. D.** 1980. Climatic classification: A Consulting Meeting. ICRISAT 14-16 April. Andhra Pradesh, India 502324.

**VIRMANI, S.M.** 1975. The agricultural climate of Hyderabad region in relation to crop planning (A sample analysis). In-house publication of ICRISAT, Hyderabad, India.

**VIRMANI, S.M., M.V.K. SIVAKUMAR y S.J. REDDY.** 1982. Rainfall probability estimates

for selected locations of semiarid India. Research Bulletin No. 1. ICRISAT. Patancheru, P.O. Andhra Pradesh, 502324 India.

**ZANDSTRA, G. H.** 1978. Climatic considerations for area based rainfed cropping systems. Research workshop management and development of rainfed crop production. FAO/PLARR/IRRI/INFAC/PCARR Headquarters. Los Baños, Laguna, Filipinas.

## AJUSTE OSMOTICO EN RAICES DE ALGODON EN RESPUESTA AL DEFICIT DE AGUA EN EL MEDIO DE CULTIVO

Osmotic Adjustment in Cotton Roots in Response to Water Deficit in the Culture Medium

Leonardo Tijerina Chávez

Centro de Hidrociencias, Colegio de Postgraduados. Montecillo, Estado de México.

### RESUMEN

Un experimento con algodón Gossypium hirsutum var. Paymaster 792 fue establecido para estudiar la magnitud del ajuste osmótico en las raíces en respuesta a déficits de agua en el medio de cultivo. Las plantas fueron cultivadas en macetas. El medio de cultivo fue una mezcla de suelo orgánico y vermiculita, en la proporción de 75% y 25%, respectivamente. El experimento fue conducido en una cámara de crecimiento con las siguientes características ambientales  $800 \mu E m^{-2}s^{-1}$  de radiación fotosintéticamente activa (PAR) medida a la altura de la planta, 15 h de luz alternando con 9 h de oscuridad y una temperatura diurna y nocturna de 28°C y 22°C, respectivamente.

Los tratamientos de riego fueron:

G0.- Húmedo. El contenido de agua en la mezcla de suelo en cada maceta se mantuvo entre 60 y 80% del total de su capacidad de retención.

G1.- Seco. El contenido de agua en la mezcla de suelo en cada maceta se mantuvo entre 30 y 60% del total de su capacidad de retención.

Después de la emergencia se iniciaron los tratamientos, y las mediciones empezaron a tomarse a los 32 días después de la emergencia (DDE). Dos plantas, una por cada tratamiento, fueron muestreadas y se les midió: el peso seco del tallo (S), el peso seco de la raíz (R), el potencial del agua en el suelo ( $\psi_s$ ), el potencial del agua en la hoja ( $\psi_{TL}$ ), el potencial de solutos en la hoja ( $\psi_{SL}$ ), el potencial del agua en la raíz ( $\psi_{TR}$ ), el potencial de solutos en la raíz ( $\psi_{SR}$ ), el contenido relativo de agua en las hojas (LA) y la cantidad total de agua aplicada (WA). Finalmente una isoterma presión-volumen fue obtenida para cada raíz. A partir del análisis de la isoterma presión-volumen se estimó el potencial de solutos a cero turgor ( $\psi_{SR0}$ ) y a completo turgor ( $\psi_{SR0}$ ) y el módulo de elasticidad volumétrico (E). Los resultados indicaron que la magnitud del potencial osmótico en raíces decrece levemente a medida que el potencial del medio decrece, pero el potencial de solutos en las hojas decreció más que en la raíz. El análisis de las isotermas presión-volumen indicó, que las raíces mantienen su elasticidad a medida que el contenido de agua en la raíz decrece, contribuyendo a mantener la presión de turgencia de las células radicales.

Palabras clave: Isoterma presión-volumen, Potencial de solutos a completa turgencia,

Recibido 6-88.

Potencial de solutos a cero turgencia, Modelo de elasticidad volumétrico.

### SUMMARY

An experiment with cotton Gossypium hirsutum var. Paymaster 792 was established to assess the magnitude of the osmotic adjustment in roots in response to water stress. The plants were grown in pots. The culture medium was a mixture of organic soil and vermiculite (75% and 25%, respectively) sieved through a 2 mm diameter sieve. The experiment was conducted in a walk-in growth chamber providing  $800 \mu\text{E m}^{-2}\text{s}^{-1}$  of photosynthetically active radiation (PAR) at plant height, with a day period of 15 hours at  $28^\circ\text{C}$ , and a dark period of 9 hours at  $22^\circ\text{C}$ . The irrigation treatments were:

Wet.- G0). The water content of the soil mixture was maintained between 60-80% of the total soil water holding capacity in each pot by checking the weight each 12 hours.

Dry.- G1). The soil water content was maintained between 30 and 60% of the total soil water holding capacity of each pot.

One week after emergence the treatments began. The final measurements began 32 days after emergence (DDE); two plants, one from each treatment, were sampled each day. The parameters measured were: shoot dry weight (S), root dry weight (R), soil water potential ( $\psi_s$ ), leaf water potential ( $\psi_{TL}$ ), leaf solute potential ( $\psi_{SL}$ ), root total potential ( $\psi_{TR}$ ), root solute potential ( $\psi_{SR}$ ), relative water content of the leaf tissue (LA) and total water applied (WA). Finally a pressure-volume isotherm was obtained for the root system of each plant. From the isotherm analyses, the solute potential at zero turgor ( $\psi_{RS0}$ ), and at full turgor ( $\psi_{RS}^0$ ), and the volumetric electric modulus (E) were estimated. The results indicated that the magnitude of the osmotic potential in the root decreased somewhat, the water potential of the medium also decreased, and solute potential in the leaves decreased more than in roots. The

analysis of the pressure-volume isotherms indicated that the elasticity of roots was maintained as water content in the root decreased contributing to the maintenance of turgor pressure in the root cells.

Index words: Pressure-volume-isotherm, Solute potential at full turgor, solute potential at zero turgor, Volumetric elastic modulus.

### INTRODUCCION

Uno de los temas que actualmente se está investigando, es el mecanismo por medio del cual las raíces mantienen la absorción de agua y continúan creciendo en condiciones de bajos potenciales de agua en el suelo. Un posible mecanismo es el ajuste osmótico en las células de la raíz, como ha sido sugerido por algunos investigadores (Turner y Jones, 1980; Bradford y Hsiao, 1982). Pocos experimentos para demostrar este mecanismo han sido conducidos; por ejemplo Greacen y Oh (1972), trabajando con plantas de chicharo, Pisum sativum, encontraron que el potencial de solutos en la raíz disminuye a medida que el potencial del agua del medio de cultivo baja. Acevedo (1975) llegó a la misma conclusión trabajando con maíz en condiciones de campo. Osonubi y Davies (1978), trabajando con plantas de roble sujetas a déficits de agua en el suelo, reportaron que la conductancia y el mantenimiento del turgor en las hojas se debió a la acumulación de solutos en la raíz y en las hojas. Sharp y Davies (1979) compararon el crecimiento de raíces de maíz cultivadas en condiciones de sequía y en condiciones normales. Ellos encontraron que después de cuatro días de déficit de agua en el suelo, el crecimiento neto de la raíz fue mayor en las plantas con déficit de agua que en aquellas que estaban creciendo en condiciones normales. Adicionalmente observaron que en las plantas creciendo bajo sequía, acumularon significativamente más solutos en el ápice de la raíz contribuyendo a mantener las células turgentes. Otros investigadores han reportado que otro mecanismo para mantener la turgencia de las células, es la alta elasticidad de las paredes celulares de algunas especies (Radin, 1983). La

elasticidad de un tejido es estimada por medio del módulo de elasticidad volumétrica que es definido por Dainty (1972) como:

$$E = \frac{\Delta P}{\Delta WC} \quad (1)$$

donde:

E = módulo de elasticidad volumétrico  
 $\Delta P$  = cambio en el potencial de turgencia  
 $\Delta WC$  = cambio en el contenido de agua del tiempo

Si el módulo de elasticidad volumétrico es bajo, entonces la elasticidad es alta y en este caso la presión de turgencia es mantenida durante la deshidratación, porque las células del tejido encogen y su volumen decrece. Davies y Lasko (1979) reportaron en hojas de manzano, que la elasticidad de las células es uno de los factores que mantienen a las células turgentes, y contribuye a mantener los estomas abiertos a medida que el potencial del agua en las hojas decrece. Sánchez y Kramer (1971), trabajando con sorgo, reportaron que una forma de mantener la turgencia en condiciones de moderada deficiencia de agua en el suelo es mediante el cambio de elasticidad de las paredes celulares a medida que el potencial de agua en las hojas decrece. Steudle y Zimmerman (1977) concluyeron que el módulo de elasticidad volumétrico depende grandemente de la presión de turgencia y del volumen celular. El módulo de elasticidad volumétrico disminuye con el aumento del tamaño de la célula para una presión de turgencia dada.

#### Isotermas Presión-Volumen.

Las bombas de presión han sido usadas por muchos investigadores para medir el potencial de agua en tejidos. Scholander et al. (1965) describieron el método que permite medir la tensión a que está sujeta la savia del xilema de las plantas vasculares. Estos autores enfatizaron que la savia extraída del xilema mediante aire a presión, es prácticamente agua pura y puntualizaron que cuando existe un

potencial de presión igual a cero, se establece una relación lineal entre la concentración de solutos intracelular y la tensión del xilema. Tyree y Hammel (1972) desarrollaron en detalle la técnica para obtener las isotermas presión-volumen y los resultados fueron confirmados por el método higrométrico, el análisis teórico de estas isotermas relacionan cuantitativamente algunos parámetros tales como: la concentración total de solutos del simplasto, el volumen original del simplasto, el potencial total, medido directamente con la bomba de presión y el volumen celular a completa turgencia.

El objetivo de este trabajo fue comparar el potencial de solutos en las raíces de plantas de algodón creciendo en condiciones normales con plantas creciendo en condiciones de sequía moderada, mediante el análisis de las isotermas presión-volumen.

## MATERIALES Y METODOS

### Establecimiento del Experimento

Preparación del medio de cultivo. Después de probar varias mezclas de suelo como medio de cultivo que permitieran separar el sistema radical sin dañarlo, se optó por utilizar una mezcla de suelo orgánico y vermiculita. Se mezclaron 75% de suelo orgánico y 25% de vermiculita y se tamizó a través de una malla de 2 mm de diámetro.

A la mezcla se le adicionó fertilizante (16-20-0), a razón de 3 g de fertilizante por kilogramo de mezcla. Doce macetas de 500 ml de capacidad fueron llenadas con 250 g de mezcla y se determinó su máxima capacidad de retención de agua. Posteriormente, tres semillas de algodón Gossypium hirsutum var. Paymaster 792 se sembraron en cada maceta y posteriormente se taparon con plástico transparente restringiendo la evaporación directa del suelo. La aereación fue permitida a través de pequeños orificios hechos con la punta de un lápiz a través del plástico. Las macetas se colocaron en una cámara de crecimiento en la cual se mantuvieron las siguientes condiciones ambientales durante el

periodo experimental; humedad relativa 65%, temperatura diurna y nocturna 28° y 22°C, respectivamente, radiación fotosintéticamente activa  $800 \mu\text{E m}^{-2}\text{s}^{-1}$  durante 15 h, alternando con 9 h de obscuridad. Después de que las plantas nacieron, solo se dejó una planta en cada maceta, y las macetas fueron cubiertas con papel aluminio dejando pasar el tallo a través de un orificio, y de esta manera se logró disminuir la pérdida de agua por evaporación directa del suelo.

Las macetas se regaron diariamente con agua de la llave para reponer la pérdida evapotranspirativa. El consumo de agua fue medido pesando cada una de las macetas cada 12 horas. Cuando las plantas tuvieron una semana después de emergidas, se estableció un diseño experimental completamente al azar con dos tratamientos y cuatro repeticiones.

Los tratamientos fueron:

G0.- Húmedo. Consistió en mantener el contenido del agua de la mezcla de suelo en cada maceta entre 60% y 80% del total de su capacidad de retención de agua.

G1.- Seco. Consistió en mantener el contenido del agua de la mezcla de suelo en cada maceta entre 30% y 60% del total de su capacidad de retención de agua.

A partir de los 32 días después de emergencia, se empezaron a hacer las mediciones diarias durante cuatro días de la siguiente manera. Una planta de cada tratamiento se tomaba antes de que se encendieran las luces de la cámara de crecimiento para no inducir la apertura estomática y se le midieron los siguientes parámetros: potencial del agua en el suelo ( $\psi_s$ ), potenciales total y de solutos en la hoja, ( $\psi_{TL}$  y  $\psi_{SL}$ ) y por diferencia se determinó el potencial de presión de la hoja ( $\psi_{PL}$ ); potenciales total y de solutos en la raíz ( $\psi_{TR}$  y  $\psi_{TS}$ ), y por diferencia se determinó el potencial de presión en la raíz ( $\psi_{PR}$ ), contenido relativo de agua en las hojas (LA). Se obtuvo la isoterma presión-volumen para cada raíz y por último se determinaron los pesos secos de la raíz (R) y

de la parte aérea (S) (hojas, tallos y peciolo). Los potenciales totales se midieron en muestras de suelo y tejidos foliar y radical, con psicrómetros-termopares mediante la técnica isopiética descrita en detalle por Boyer y Knipling (1965); en la misma muestra, después de haber sido congelada y descongelada, fue determinado el potencial de solutos con el mismo equipo. Los potenciales de agua en la hoja fueron medidos en las muestras de tejido de las hojas más recientemente maduras y completamente expuestas a la luz y las muestras de raíces fueron tomadas de la parte central del sistema radical una vez que éste había sido separado del suelo.

#### Obtención de la Isoterma Presión-Volumen de un Sistema Radical.

Una vez que se cortaba la parte aérea 3 cm arriba de la base del tallo, la raíz se separaba del suelo sacudiéndola ligeramente y limpiándola con un cepillo suave, se tomaban las muestras para determinar los potenciales total y de solutos, la raíz sobrante se pesaba inmediatamente y se metía en una bolsa de plástico de aproximadamente  $500 \text{ cm}^3$  y se cerraba con una liga dejando fuera de la bolsa el extremo de la base del tallo.

La bolsa de plástico y la liga se pesaban previamente. La raíz dentro de la bolsa se metía en la cámara de presión, tal como se ilustra en la Figura 1, para posteriormente iniciar el proceso de extracción de agua de la raíz. Se usó aire a presión para presurizar el sistema y extraer el agua de la raíz, la cual era colectada en un papel absorbente que se colocaba previamente dentro de un tubo de vidrio cuyo diámetro interno era un poco más grueso que el diámetro de la base del tallo. Este tubo se colocaba verticalmente sostenido con una pinza, procurando hacer contacto con el extremo del corte de la base del tallo que salía de la cámara de presión a través de un orificio. El volumen extraído para cada punto de equilibrio (entendiéndose como punto de equilibrio el momento en que no sale agua para una presión aplicada), era medido gravimétricamente en una balanza de 1 mg de aproximación.



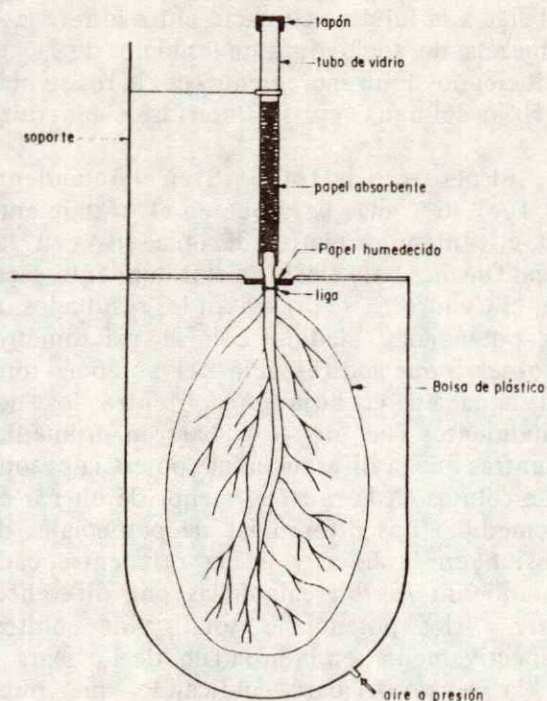


Figura 1. Esquema de la localización de la raíz antes de iniciar la presurización dentro de la cámara de presión.

Inicialmente, el procedimiento de presurización para la obtención de la isoterma fue aplicar incrementos de 1.5 bars hasta alcanzar el equilibrio en cada observación, 3 a 4 observaciones se hicieron de esta manera y posteriormente el mismo procedimiento se repitió con incrementos de presión mayores pero no más de 5 bars. Al mismo tiempo se iba dibujando una gráfica que relaciona el volumen acumulado del agua extraída contra el inverso de la presión aplicada para cada punto de equilibrio. Cuando la gráfica obtenida mostró linealidad se suspendió el proceso de presurización.

Para obtener cada isoterma al menos 15 puntos fueron obtenidos, con un mínimo de tres puntos en la región lineal de la curva.

Dos bombas de presión conectadas permitieron la obtención de las isotermas simultáneamente para cada tratamiento. Después de hacer la última lectura, la raíz se secaba a 70°C en un horno ventilado hasta peso constante.

El contenido relativo de agua para cada punto de equilibrio fue calculado con la ecuación:

$$RWC = (W_a - W_d) / (W_s - W_d) \quad (2)$$

donde:

RWC = contenido relativo de agua  
 $W_a$  = peso actual de la raíz calculado para cada punto de equilibrio  
 $W_s$  = peso inicial de la raíz  
 $W_d$  = peso seco de la raíz

El análisis de cada isoterma fue hecho siguiendo el método descrito por Hsiao y Bradford (1983). Básicamente este método consiste en graficar el contenido relativo de agua versus el inverso de la presión aplicada. Asumiendo que el potencial de solutos es el único componente significativo del potencial total del agua en la porción lineal de la isoterma, entonces el punto de separación de la linealidad en la isoterma, corresponde al valor del potencial de solutos cuando el potencial de turgencia es igual a cero ( $\psi_{SR}^0$ ) y la extrapolación de esta línea cuando corta el valor de 100% de contenido relativo de agua corresponde al potencial de solutos a completa turgencia ( $\psi_{SR}^0$ ).

El potencial de presión  $\psi_p$  para cada punto de equilibrio de la isoterma es obtenido por diferencia entre el potencial total y el de solutos gráficamente. Posteriormente se graficó  $\psi_p$  versus el contenido relativo de agua para cada punto de equilibrio y la tangente en cada punto de la isoterma estima el módulo de elasticidad volumétrico.

#### Contenido Relativo de Agua en las Hojas.

Este parámetro fue medido para determinar el grado de hidratación de las hojas de las plantas de cada tratamiento al momento de hacer las observaciones finales. Treinta discos de 1 cm de diámetro de tejido se cortaron e inmediatamente se pesaron. En seguida estos discos fueron puestos a saturar en

agua destilada en una caja de Petri bajo las condiciones de luminosidad de la cámara de crecimiento hasta lograr su peso constante, después estos discos fueron secados a 70°C en un horno de ventilación hasta obtener también su peso constante. El contenido relativo de agua fue calculado por la ecuación 2.

## RESULTADOS Y DISCUSION

En el Cuadro 1 se presentan los resultados de algunos parámetros medidos de la planta al comparar los dos tratamientos.

El promedio de la cantidad de agua aplicada (WA) al tratamiento seco (G1) fue 32% menos que el del tratamiento húmedo (G0); sin embargo, la diferencia de potencial de agua en el suelo entre los dos tratamientos únicamente fue de un bar; esto fue debido posiblemente a la alta capacidad de retención de agua del medio de cultivo. Por consiguiente, el déficit de agua manifestado en las plantas pudo

Cuadro 1. Peso seco del tallo (S), peso seco de la raíz (R), relación raíz/tallo (R/S), contenido relativo de agua en la hoja (LA) y la cantidad total de agua aplicada (WA).

Tratamiento	Fecha	S	R	R/S	LA	WA
		g	g	g	%	ml
G0	11-26-84	1.309	0.317	0.242	93.3	714
	11-27-84	1.482	0.311	0.210	88.7	696
	11-28-84	1.342	0.302	0.225	93.7	743
	11-29-84	1.517	0.319	0.210	94.2	642
	Promedio	1.413	0.312	0.222	92.5	698
G1	11-26-84	0.564	0.155	0.275	84.4	460
	11-27-84	0.576	0.153	0.266	88.6	459
	11-28-84	0.532	0.144	0.271	86.0	476
	11-29-84	0.668	0.180	0.269	82.3	511
	promedio	0.585	0.158	0.270	85.3	476

deberse a la falta de contacto entre la raíz con la mezcla de suelo durante los ciclos de riego, induciendo a un incremento de la resistencia al flujo del agua en la interfase suelo-raíz.

El peso seco del follaje (S) en el tratamiento G1 fue 46% más bajo que en el tratamiento G0, el contenido relativo de agua (LA) en las hojas fue más bajo en 8% en el tratamiento seco. En el Cuadro 2, se presentan los resultados de los potenciales medidos con el psicrómetro. Se observa que la diferencia del potencial total del agua en la hoja ( $\Psi_{TL}$ ) entre los dos tratamientos fue de -1.4 bars en promedio, mientras que la diferencia de potenciales total y de solutos en la raíz fue menor de un bar en promedio. Las diferencias de potenciales de presión en la hoja y en la raíz entre cada tratamiento fueron calculadas por diferencia entre los potenciales total y de solutos, respectivamente, en la hoja fue de 1.5 bars y en la raíz de 0.4 bars, indicando que hubo mayor acumulación de solutos en las hojas que en la raíz en ambos tratamientos pero siendo mayor en las plantas del tratamiento bajo sequía G1.

Cuadro 2. Potenciales <sup>1)</sup> medidos usando la técnica psicrométrica.

Tratamiento	Fecha	$\Psi_S$	$\Psi_{TR}$	$\Psi_{SR}$	$\Psi_{PR}$	$\Psi_{TL}$	$\Psi_{SL}$	$\Psi_{PL}$
G0	11-26-84	-0.2	-1.5	-3.8	+2.3	-10.3	-12.4	+2.1
	11-27-84	-0.2	-2.5	-4.1	+1.6	-9.8	-13.5	+3.7
	11-28-84	-1.5	-3.4	-4.5	+1.1	-9.0	-10.3	+1.3
	11-29-84	-1.4	-3.8	-5.3	+1.5	-11.5	-14.2	+2.7
	Promedio	-0.8	-2.8	-4.4	+1.6	-10.5	-12.6	+2.4
1	11-26-84	-1.6	-3.0	-2.5	+2.2	-12.0	-16.5	+4.5
	11-27-84	-1.9	-2.5	-3.8	+1.3	-11.2	-14.6	+3.4
	11-28-84	-2.1	-3.5	-5.8	+2.3	-12.5	-16.0	+3.5
	11-29-84	-1.5	-3.2	-5.3	+2.1	-11.9	-16.0	+4.1
	Promedio	-1.8	-3.0	-5.0	+2.0	-11.9	-15.8	+3.9

<sup>1)</sup> En bars.

Las isothermas presión-volumen obtenidas de cada planta (una de cada tratamiento) son mostradas en la Figura 2a.

Tomando el inverso del potencial total  $\Psi_{TR}$  versus el contenido relativo de agua RWC, se dibujaron las Figuras 2b. En cada una de estas figuras extrapolando gráficamente la parte lineal de cada curva se estimó el potencial de solutos correspondiente a completa turgencia  $\Psi_{SR}^0$  y el punto de la curva donde se pierde la linealidad corresponde al valor del potencial de solutos a cero turgencia  $\Psi_{SR0}$ . Los valores correspondientes para las plantas de cada

tratamiento se muestran en el Cuadro 3. El potencial de solutos a completa turgencia fue en promedio de -1 bar más bajo en el tratamiento G1 que en el G0, y en promedio el potencial de solutos en la raíz a cero turgencia fue prácticamente el mismo en ambos tratamientos. Por otra parte, los valores del potencial de solutos en la raíz a completa turgencia, obtenidos por este método y el método psicrométrico, son idénticos. El módulo de elasticidad volumétrica (E) es presentado en las gráficas de la Figura 2c. En dichas gráficas puede observarse que el potencial de presión se mantiene relativamente alto

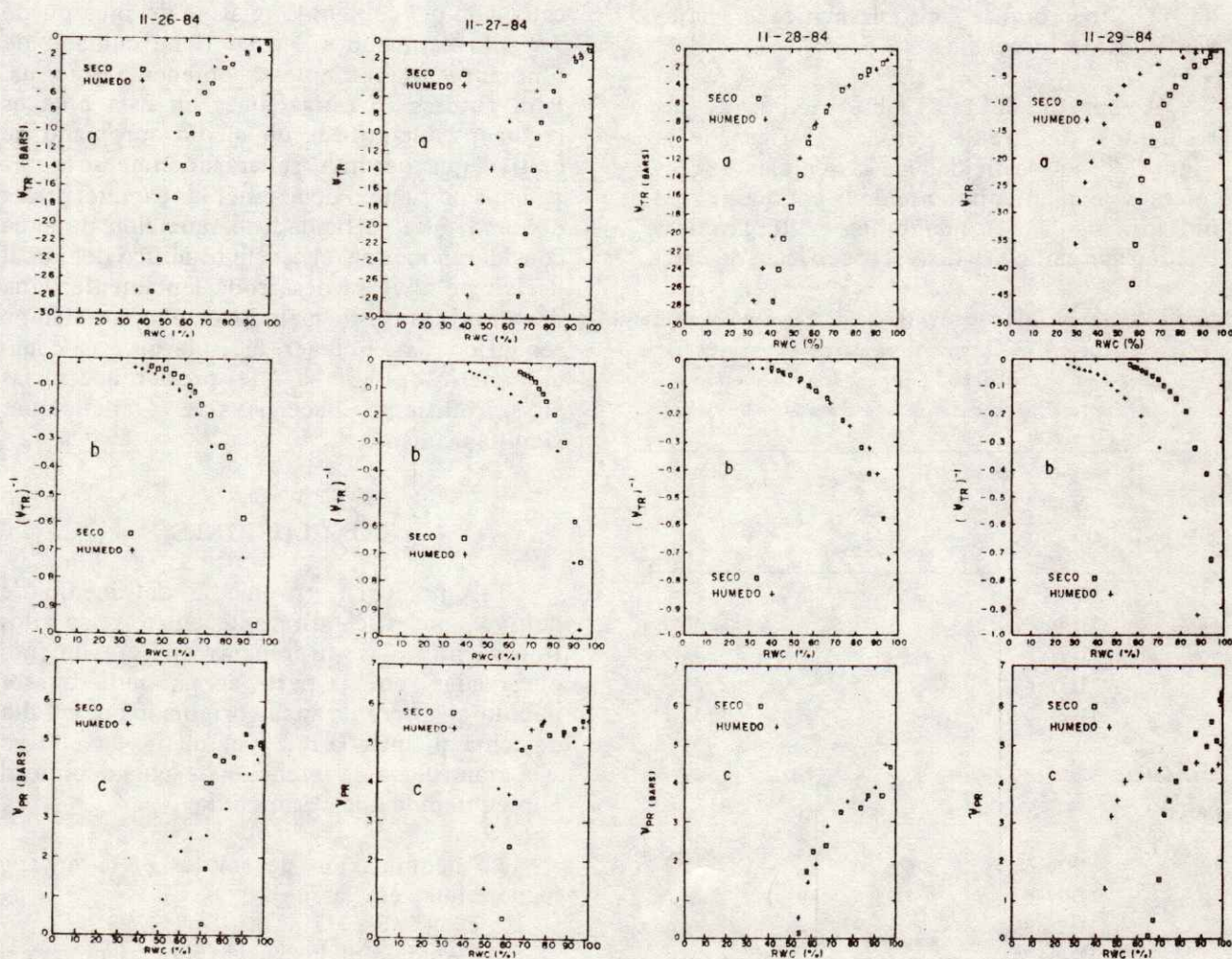


Figura 2. a) Isothermas presión-volumen. b)  $1/\Psi_{TR}$  versus contenido relativo de agua (RWC). c)  $\Psi_{PR}$  versus RWC.

al disminuir el contenido relativo de agua. Este hecho indica que en las plantas del tratamiento G0, el módulo de elasticidad volumétrica es menor que el de las plantas del tratamiento G1. En consecuencia, la elasticidad del tejido radical de las plantas del tratamiento G0 se mantiene entre 60 y 90% de contenido relativo de agua. En otras palabras, las células radicales presentan cambios en volumen dentro de un cierto rango de deshidratación sin que cambie el potencial de turgencia. A este respecto Zimmerman y Steudle (1975) indican también que la conductividad hidráulica de las membranas celulares dependen de la presión de turgencia, por lo tanto, este hecho puede ser importante en la preservación de la integridad de la membrana citoplasmática a bajas presiones de turgencia.

A partir de estas observaciones y los resultados mostrados en las gráficas de la Figura 2c, la elasticidad de las células de las raíces y el mantenimiento de la conductividad hidráulica de la membrana citoplasmática, pueden ser características específicas de cada

Cuadro 3. Potenciales de solutos a cero y completa turgencia obtenidos mediante el análisis de las isoterms presión-volumen. Los potenciales están expresados en bars.

Tratamiento	Fecha	$SR^0$	$SR_0$
G0	11-26-84	-5.5	-18.9
	11-27-84	-4.8	-18.9
	11-28-84	-5.6	-14.1
	11-29-84	-4.7	-18.8
Promedio		-5.1	-17.7
G1	11-26-84	-5.8	-15.5
	11-27-84	-5.4	-18.3
	11-28-84	-4.9	-16.9
	11-29-84	-6.3	-23.0
Promedio		-6.2	-18.4

especie creciendo en un medio sin restricciones de humedad en el suelo contribuyendo a mantener las células turgentes, mientras que en las plantas, creciendo en condiciones de deficiencia de agua en el suelo, la elasticidad de las células de las raíces es menor y la turgencia es mantenida en virtud del ajuste osmótico, induciendo a un incremento de la diferencia de potencial total del agua entre el agua extracelular y la del citoplasma.

Es importante hacer notar algunas limitaciones del método para obtener las isoterms de un sistema radical. En primer lugar, el tamaño de la raíz está limitado al tamaño de la cámara de presión. En segundo lugar, el valor calculado del contenido relativo de agua puede ser sobreestimado si no se tiene cuidado de limpiar bien la raíz antes de obtener la isoterma. Para futuras investigaciones en esta área es recomendable utilizar un medio apropiado de cultivo que permita separar fácilmente la raíz y al mismo tiempo debe tener las características de una alta capacidad de retención de agua considerando que el ajuste osmótico debido al déficit de agua se desarrolla lentamente. Una desventaja de este método es el gran tiempo requerido para obtener la isoterma así como el número de bombas de presión necesarias si se quisieran hacer varias repeticiones simultáneamente.

## CONCLUSIONES

El potencial promedio del medio de cultivo no fue diferente entre los dos tratamientos, las diferencias en crecimiento observadas en la parte aérea, pudieron ser debido al estrés de agua, originado por la falta de contacto entre la raíz y el medio de cultivo y la gran fuerza de retención de agua debido al alto contenido de vermiculita.

La acumulación de solutos en la raíz fue menor que en las hojas.

Del análisis de las curvas que relacionan el  $\Psi_{PR}$  versus RWC, se observó que las plantas que crecen en condiciones sin restricción de agua en el suelo, las células del tejido radical man-

tienen su elasticidad en un amplio rango de su contenido relativo de agua (60-90%). Estas observaciones asociadas a las Zimmerman y Steudle (1975), referentes al mantenimiento de la conductividad hidráulica de las membranas citoplásmicas, a la vez que se mantiene su potencial de presión, permiten explicar la adaptabilidad del tejido radical cuando ocurren disminuciones moderadas del contenido de agua en el medio de cultivo.

Por otra parte, los resultados indican que las células de las raíces del tratamiento seco, mantienen su elasticidad en un rango menor de su contenido relativo de agua (90-70%). Además, los valores promedio de los  $\Psi_{SR}^{\circ}$  y  $\Psi_{SR0}$  detectados en el tratamiento seco, fueron menores que en el tratamiento húmedo, sugiriendo que las raíces de las plantas del tratamiento seco se ajustaran osmóticamente. Aunque la magnitud de este proceso es menor que en el caso de las hojas, es, sin embargo, suficiente para contribuir al mantenimiento de la turgencia celular del tejido radical a medida que la disponibilidad de agua en el medio de cultivo disminuye.

#### LITERATURA CITADA

- ACEVEDO, E. 1975. The growth of maize (*Zea mays* L.) under field conditions as affected by its water relations. PhD diss. University of California, Davies (available from University microfilms. PO Box 1346. Ann Arbor, Michigan 48106 USA).
- BRADFORD, H.J. y T.C. HSIAO. 1982. Physiological responses to moderate water stress. In: O. L. Lange, P. S. Nobel, C. B. Osmond y H. Ziegler (Eds). Water relations and photosynthetic productivity. *encycl. of plant physiol.*, New Series, Vol. 12 B. Plant Ecol. II. Springer-Verlag, Berlin. pp 263.
- BOYER, K.J. y E.B. KNIPLING. 1965. Isopiestic technique for measuring leaf water potential with thermocouple psychrometer. *Proc. Nat. Acad. Sci. USA* 54: 1044-1051.
- DAINTY, J. 1972. Plant cell-water relations: the elasticity of the cell wall. *Proc. Roy. Soc. Edinburg (A)* 70: 89-93.
- DAVIES. F. S. y A.L. LASKO. 1979. Diurnal and seasonal changes in leaf water potential components and elastic properties in response to water stress in apple trees. *Physiol. Plant* 46: 109-114.
- GREACEN, E.L. y J.S. OH. 1972. Physics of root growth. *Nature* 235: 24-25.
- HSIAO, T.C. y K.J. BRADFORD. 1983. Physiological consequences of cellular water deficits. In: H.M. Taylor, W. R. Jordan y T. R. Sinclair (Eds). *Am. Soc. Agron., Madison, Wisconsin* pp. 227-265.
- OSONUBI, y F.S. DAVIES. 1978. Solute accumulation in leaves and roots of woody plants subjected to water stress, *Ecologia* 32: 323- 332.
- RADIN, J.W. 1983. Physiological consequences of cellular water deficits. In: H. M. Taylor, W. R. Jordan, y T. R. Sinclair (Eds). *Am. Soc. Agron., Madison, Wisconsin*. pp. 267-274.
- SANCHEZ, D.M. y P.J. KRAMER. 1971. Behavior of corn and sorghum under water stress and during recovery. *Plant Physiol.* 48: 613-616.
- SCHOLANDER, P.F., H.T. HAMMEL, E.D. BROADSTREET, y E. A. HEMMINGSEN. 1965. Sap Pressure in vascular plants. *Science* 148: 339-346.
- SHARP, R.E. y W.J. DAVIES. 1979. Solute regulation and growth by roots and shoots of water stressed maize plants. *Planta* 147: 43-49.
- STEUDLE, E. y U. ZIMMERMAN. 1977. Effect of turgor pressure and cell size on the wall elasticity of plant cells. *Plant Physiol.* 59: 285-289.

**TURNER, N.C. y M.N. JONES.** 1980. Turgor maintenance by osmotic adjustment. A review and evaluation. In: Adaptations of plants to water and high temperature stress. N. C. Turner y J.P. Kramer (Eds). J. Wiley and Sons. N. Y. P. 87-103.

**TYREE, M.T. y H.T. HAMMEL.** 1972. The measurement of the turgor pressure and the

water relations of plants by the pressure bomb technique. *J. Exp. Bot.* 23: 267-282.

**ZIMMERMAN, U. y E. STEUDLE.** 1975. The hydraulic conductivity and volumetric elastic modulus of cells and isolated cell walls of *Nitella* and *Chara* Spp. Pressure and volumetric effects. *Aust. J. Plant Physiol.* 2: 1-12.

## DISPONIBILIDAD DEL FOSFORO DE LOS ESTIERCOLES SOLOS Y COMBINADOS CON SUPERFOSFATO TRIPLE EN UN SUELO CALCAREO

Phosphorus Availability of Animal Manure Alone and Combined with Superphosphate on a Calcareous Soil

J.J. Muñoz y J. Z. Castellanos.

CAEVAG, CIANOC, INIFAP. Durango, Durango, y CAELALA, CIAN, INIFAP. Matamoros, Coahuila

### RESUMEN

El presente trabajo tuvo por objeto evaluar la disponibilidad del fósforo del estiércol de bovino y gallinaza solos y combinados con superfosfato de calcio triple en un suelo calcáreo de textura franca. El estudio se realizó en 1983, bajo condiciones de invernadero y se probaron dosis de gallinaza de 5 y 20 ton ha<sup>-1</sup> y de estiércol bovino de 25 y 100 ton ha<sup>-1</sup>. Estos tratamientos fueron probados en un arreglo combinatorio con y sin la adición de 736 kg de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ha<sup>-1</sup> en forma de superfosfato de calcio triple (SFT). Se usaron macetas de 9 kg de suelo, las cuales fueron sembradas con maíz. Se realizaron tres muestreos de tejido para análisis de fósforo en varias etapas de desarrollo. Después de floración se tomaron los datos de rendimiento de materia seca total y al final del experimento se tomaron muestras de suelo para análisis de fósforo. Ambas fuentes orgánicas mostraron la misma eficiencia para suplementar fósforo a la planta que el SFT ya fuera solas o combinadas con este último, según lo señala el rendimiento de materia seca, la extracción total de fósforo por las plantas y el fósforo disponible (soluble en NaHCO<sub>3</sub>) al final del experimento.

Palabras clave: Fósforo disponible, Estiércol animal, Suelos calcáreos.

### SUMMARY

The objective of this study was to evaluate the phosphorus (P) availability of dairy and poultry manure alone and combined with triple superphosphate (TSF) on a calcareous loamy soil. The study was conducted under greenhouse conditions with the following treatments: poultry manure at rates of 5 and 20 ton ha<sup>-1</sup> and dairy manure at rates of 25 and 100 ton ha<sup>-1</sup>; these treatments were compared to applications of 0 and 736 kg of P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ha<sup>-1</sup> in the form of TSF. Pots with 9 kg of soil were planted with corn. Tissue sampling was taken for P analysis during three vegetative stages. Dry matter yield was determined after flowering and soil was sampled for P analysis. Organic sources were as efficient as TSF in supplying P to the plant according to dry matter yield, total P extraction by plant and available P (soluble in NaHCO<sub>3</sub>) in soil.

Index words: Phosphorus availability, Animal manure, Calcareous soils.

## INTRODUCCION

El uso racional de los desechos orgánicos como fuentes de nutrimentos en la agricultura implica conocer la disponibilidad de éstos en relación a las fuentes minerales comercialmente utilizadas. Actualmente son muy pocas las regiones agrícolas que cuentan con una guía juiciosa de utilización de estos subproductos.

La concentración de fósforo en el estiércol bovino de la Laguna varía de 0.41 a 0.82% con un promedio de 0.51%, mientras que en la gallinaza el intervalo es de 1.20 a 3.22% con un promedio de 2.36% (Castellanos, 1982). Las bajas concentraciones nutrimentales en comparación con los fertilizantes minerales, se compensan por las dosis altas que se aplican a los terrenos.

Aunque abundan reportes que indican que los desechos animales incrementan la disponibilidad de fósforo en el suelo (Olsen *et al.*, 1970; Abbot y Tucker, 1973; Vitosh *et al.*, 1973) muy pocos investigadores han comparado estas fuentes con los fertilizantes minerales. McAuliffe *et al.* (1949) reportaron que el fósforo mineral resultó más eficiente que el fósforo del estiércol. Por otro lado, May y Martin (1966) concluyeron que el fósforo del estiércol de bovinos de engorda y lechero y de la gallinaza respondía tan o más favorablemente que el fósforo mineral. Aparentemente en los ensayos a largo plazo el estiércol aventaja a las fuentes comerciales en la eficiencia de suplementación de fósforo, mientras que en ensayos a corto plazo la ventaja es a favor del fertilizante mineral (Olsen y Barber, 1977).

Goss y Stewart (1979), al comparar estiércol de bovino de engorda (como fuente de fósforo) con superfosfato en un suelo calcáreo, encontraron que la alfalfa obtuvo más fósforo de la fuente mineral al mismo nivel de P; sin embargo, el cultivo hizo un uso más eficiente del fósforo en el tratamiento con estiércol en términos de incremento en rendimiento por unidad de fósforo absorbido.

Castellanos (1986) reportó la misma disponibilidad de P en gallinaza y estiércol bovino que en superfosfato de calcio triple en un suelo calcáreo. Estos datos fueron obtenidos con base en el rendimiento de alfalfa en un experimento de invernadero, sin embargo, recomienda que este estudio se realice en otros tipos de suelo.

Existen pocos estudios en que se haya evaluado el estiércol mezclado con superfosfato con el fin de evaluar el efecto combinado como mecanismo para incrementar su disponibilidad.

Los objetivos del presente trabajo fueron evaluar el estiércol de bovino y la gallinaza, solos y combinados con superfosfato de calcio triple para corregir la deficiencia de fósforo en un suelo calcáreo de textura franca.

## MATERIALES Y METODOS

El estudio se realizó en condiciones de invernadero utilizando macetas con 9 kg de suelo ( $3.6 \times 10^6$  kg ha<sup>-1</sup>) procedente de una plantación de nogal en la región Lagunera del estado de Durango; el suelo fue colectado a una profundidad de 0-45 cm y presentó una textura franca con un contenido de arcilla de 27%, un contenido de materia orgánica de 0.80% (método de Walkley y Black, 1934), un contenido de fósforo soluble en NaHCO<sub>3</sub> de 10.6 mg/kg (Olsen *et al.*, 1954), un contenido de carbonato de calcio de 5.2% y un pH de 8.2 en una relación suelo:agua de 1:1.

Las características de los estiércoles se presentan en el Cuadro 1. Ambos estiércoles fueron considerados como representativos de la región Lagunera (Castellanos, 1982). El contenido de fósforo de la gallinaza es aproximadamente cuatro veces más alto que el de estiércol bovino, motivo por el cual las dosis evaluadas fueron mucho mayores en este último.

Los tratamientos ensayados fueron: gallinaza, en dosis de 12.5 (G<sub>1</sub>) y 50.0 g/maceta (G<sub>2</sub>), y estiércol bovino en dosis de 62.5 (B<sub>1</sub>)



Cuadro 1. Características de los estiércoles utilizados en el experimento.

Estiércol	Nitrógeno	Fósforo (P)	Ceniza	Relación C/N
Gallinaza	4.15	1.78	38.4	8.2
Bovino	1.78	0.42	48.9	15.9

y 250 g/maceta ( $B_2$ ). Cada uno de estos tratamientos se combinó con  $O(P_0)$  y  $4(P_1)$  g/maceta de superfosfato de calcio triple. También se incluyó un testigo sin estiércol y sin fertilizante. El diseño empleado fue de parcelas divididas con seis repeticiones, considerando al abono orgánico como parcela principal y la dosis de P como parcela chica. El análisis se hizo en forma independiente para cada una de las fuentes de fósforo orgánico. Las dosis señaladas fueron equivalentes a 5 y 20 ton de gallinaza  $ha^{-1}$ ; 25 y 100 ton de estiércol bovino  $ha^{-1}$  y 736 kg  $P_2O_5$   $ha^{-1}$  en la forma de superfosfato de calcio triple. Se decidieron estas dosis de fósforo debido a que el suelo utilizado es excesivamente pobre en este nutriente.

Los abonos se aplicaron juntamente con una fertilización basal de  $K_2SO_4$  y  $MgSO_4$  en dosis suficiente para no tener deficiencia de estos nutrimentos. Con el fin de igualar los efectos por nitrógeno se aplicó una dosis total de 7 g/maceta de este elemento en la forma de urea, dividida en siete aplicaciones durante el desarrollo del cultivo. El maíz (variedad B-15) se sembró en las macetas (cinco plantas/maceta) el 7 de junio de 1983. Las necesidades hídricas del cultivo fueron controladas gravimétricamente durante el estado de plántula y en estados avanzados de crecimiento mediante el uso de tensiómetros en macetas aisladas procurando mantener la humedad entre 20 y 50 centibars.

Al inicio del cultivo se presentó una deficiencia de hierro, la cual fue controlada mediante cinco aspersiones de sulfato ferroso al 0.5%.

Se tomaron muestras de planta, tomando el tercio medio de la hoja más recientemente madura a los 25, 38 y 45 días después de la siembra. El último muestreo correspondió con el 40% de floración masculina y en este caso se tomó la hoja opuesta al sitio de desarrollo de la inflorescencia femenina. Estas hojas se lavaron cuidadosamente y se secaron a  $65^\circ C$  para luego ser analizadas en relación al fósforo total.

Al final del experimento, el suelo de las macetas fue homogeneizado, secado al aire y analizado para determinar su contenido de fósforo disponible de acuerdo con el método de Olsen *et al.* (1954).

## RESULTADOS Y DISCUSION

Al inicio del desarrollo, las plantas mostraron una severa deficiencia de fósforo (color púrpura en las hojas) en los tratamientos bajos en este nutrimento, tal como se puede inferir de los análisis de tejido que se presentan en el Cuadro 2. La concentración de fósforo en el tejido se incrementó conforme aumentó la dosis de fósforo aplicada, independientemente de la fuente utilizada. La

Cuadro 2. Concentración de fósforo en tejido de maíz en varias épocas de muestreo en los tratamientos establecidos.

Tratamiento	Fósforo aplicado	Plántula	Prefloración	Floración
			mg/maceta	ppm
Testigo	0	325	925	1075
$P_1$	803	700	1500	1150
$G_1P_0$	223	700	1950	1200
$G_1P_1$	1026	1250	2000	1350
$G_2P_0$	890	1450	1700	1650
$G_2P_1$	1693	1700	1800	1750
$B_1P_0$	263	750	1650	1100
$B_1P_1$	1066	1400	1950	1350
$B_2P_0$	1050	1100	1700	1450
$B_2P_1$	1853	1250	1900	1700
Promedio		1062	1708	1378

concentración de fósforo en el primer muestreo fue inferior a las posteriores, cuando la deficiencia se hizo más evidente, probablemente como resultado de un escaso desarrollo radicular en dicha etapa.

Los datos de rendimiento de materia seca se presentan en los Cuadros 3 y 4. Es notorio que a dosis bajas de abono orgánico hay una respuesta importante a la aplicación de superfosfato triple, no ocurriendo así a dosis altas. Por otro lado, al comparar el efecto combinado de  $G_1P_1$  o  $B_1P_1$  con una dosis similar de fósforo de fuente orgánica, el rendimiento es casi el mismo. Este efecto se puede apreciar mejor en la Figura 1 en donde se grafica el rendimiento versus los niveles de P aplicado en cada tratamiento.

En estas condiciones, desde el punto de vista de rendimiento, las fuentes orgánicas de gallinaza y estiércol bovino muestran la misma disponibilidad de fósforo que la fuente de superfosfato de calcio triple, lo cual es congruente con los datos reportados por

Cuadro 3. Rendimiento de materia seca de maíz en los tratamientos de gallinaza y SFT.

Fósforo aplicado	mg de P de SFT/maceta		Promedio
	0	803	
	mg/maceta	g /maceta	
Gallinaza 0	(0)	46.4	102.9
Gallinaza 1	(223)	92.5	142.0
Gallinaza 2	(890)	193.7	211.4
Promedio		110.9	152.1

DMS <sub>0.01</sub>	para dif. entre $\bar{x}$ de P de gallinaza = 44.8 g	
	CV=22%	
DMS <sub>0.01</sub>	para dif. entre $\bar{x}$ de P de SFT = 25.7 g	
	CV=16%	
DMS <sub>0.01</sub>	para dif. entre $\bar{x}$ de P de SFT en el mismo nivel de P de gallinaza. = 44.5 g	
DMS <sub>0.01</sub>	para dif. entre $\bar{x}$ de P de SFT en diferente nivel de P de gallinaza. = 54.7 g	

Cuadro 4. Rendimiento de materia seca de maíz en los tratamientos con estiércol y SFT.

Fósforo aplicado	mg de P de SFT/maceta		Promedio
	0	803	
	mg/maceta	g/maceta	
Bovino 0	(0)	46.4	102.9
Bovino 1	(263)	98.4	168.0
Bovino 2	(1050)	202.9	208.7
Promedio		115.9	159.9

DMS<sub>0.01</sub> para dif. entre  $\bar{x}$  de P de bovino = 44.4 g  
CV=13%

DMS<sub>0.01</sub> para dif. entre  $\bar{x}$  de P de SFT = 39.8 g  
CV=22%

DMS<sub>0.01</sub> para dif. entre  $\bar{x}$  de P de SFT en el mismo nivel de P de bovino = 57.6 g

DMS<sub>0.01</sub> para dif. entre  $\bar{x}$  de P de SFT en diferente nivel de P de bovino = 48.5 g.

Castellanos (1986). Además no se presentó ningún beneficio cuando se combinó la fuente orgánica con la mineral en comparación con la aplicación sencilla.

En cuanto a la extracción de fósforo del cultivo que es otro indicador de la disponibilidad del nutrimento, en la Figura 2 se presenta

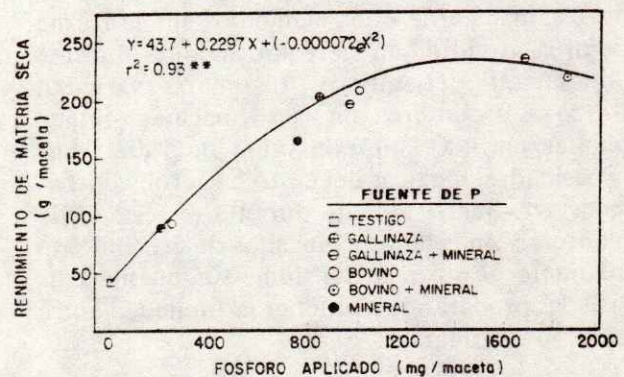


Figura 1. Relación entre el fósforo aplicado en la forma orgánica o mineral y el rendimiento de maíz.

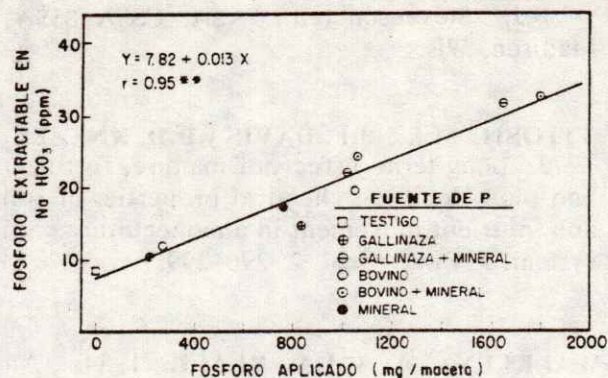


Figura 2. Relación entre el P aplicado en la forma orgánica o mineral y la extracción de P por planta.

la relación entre fósforo aplicado y fósforo extraído por el cultivo. En este caso la relación aún más estrecha, con un coeficiente de correlación de 0.96, altamente significativo.

En relación a los efectos residuales del fósforo, en la Figura 3 se presenta la relación entre fósforo aplicado al inicio del experimento y fósforo disponible (Olsen *et al.*, 1954) al final del mismo. Los resultados fueron similares a los de la Figura 2. Es decir, tanto al corto como al mediano plazo las tres fuentes de fósforo resultaron prácticamente con la misma disponibilidad ya sea solas o combinadas con superfosfato de calcio triple.

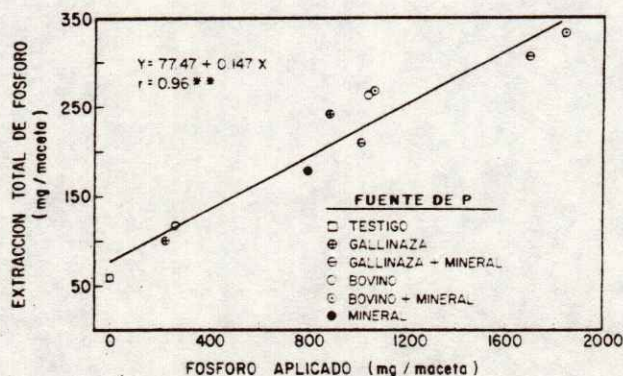


Figura 3. Relación entre el P aplicada en la forma orgánica o mineral y la disponibilidad de fósforo en el suelo al final del experimento.

## CONCLUSIONES

Las fuentes orgánicas de estiércol de bovino y gallinaza mostraron la misma disponibilidad que el superfosfato de calcio triple en función del rendimiento, extracción de fósforo y fósforo disponible al final del experimento.

No se observó un incremento en la eficiencia de suplementación de fósforo al comparar el efecto combinado de estiércol de bovino o gallinaza con el superfosfato de calcio triple.

## LITERATURA CITADA

ABBOT, J. L. y T. C. TUCKER. 1973. Persistence of manure phosphorus availability in calcareous soil. Soil Sci. Soc. Am. Proc. 37: 60-63.

CASTELLANOS, J. Z. 1982. Estudios sobre la producción, utilización y características de los estiércoles en la Comarca Lagunera. *In:* La utilización de los estiércoles en la agricultura. Ed. J.Z. Castellanos y J.L. Reyes. LATEM, A.C. Apdo. Postal 973. Torreón, Coah. México p. 11-19.

CASTELLANOS, J.Z. 1986. Evaluación de estiércol de bovino y gallinaza como fuente de fósforo en el cultivo de alfalfa. Agric. Tec. Méx. 12: 247-258.

GOSS, P.W. y B.A. STEWART. 1979. Efficiency of phosphorus utilization by alfalfa from manure and superphosphate. Soil Sci. Soc. Am. J. 43: 523-528.

MAY, D.M. y W.E. MARTIN. 1966. Manures are good sources of phosphorus. Calif. Agric. 20(7): 11-12.

McAULIFFE, C., M. PEECK y R. BRADFIELD. 1949. The utilization by plants of phosphorus in farm manure. II: Availability to plants of organic and inorganic forms of phosphorus in sheep manure. Soil Sci. 68: 185-195.

**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. U.S. Dep. of Agric. Circ. 939.

**OLSEN, R.F., R.H. HERSLER y O.J. OTTOE.** 1970. Effect of manure application, aeration and soil pH on soil nitrogen transformation and on certain soil test values. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 34: 222-225.

**OLSEN, S.R. y S.A. BARBER.** 1977. Effect of waste application on soil phosphorus and potassium. p. 197-215. *In*: Soil for management of organic wastes and waste waters. L.F. Elliot

y F.J. Stevenson (ed.). ASA. CSSA SSSA, Madison, Wis.

**VITOSH, M.L., J.F. DAVIS y B.D. KNEZEC.** 1973. Long term effects of manure, fertilizer and plow depth on chemical properties of soil and nutrient movement in a monoculture corn system. J. Env. Qual. 2: 296-299.

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

## CULTIVO DE FRIJOL IRRIGADO POR EL METODO DE RIEGO POR SUCCION

Bean Crop Irrigated by the Irrigation Suction Method

Leonardo Tijerina Chávez

Centro de Hidrociencias, Colegio de Postgraduados,  
56230 Montecillo, Edo. de México.

### RESUMEN

El uso de cápsulas porosas conectadas a una fuente de abastecimiento de agua, permite su aplicación al cultivo en forma localizada y eficiente; además permite hacer estudios del estatus del agua en el sistema suelo-planta. En el presente trabajo, utilizando este sistema de riego, se realizó un experimento en los terrenos de la Estación Lisimétrica de Chapingo en el cultivo de frijol *Phaseolus vulgaris* L. variedad Canario 107. El experimento consistió en someter al cultivo a tres tratamientos de humedad en el suelo, lo cual se logró variando el área filtrante en función del número de cápsulas en operación y la altura de succión. Por otra parte, se estudió el estatus del agua en el suelo y la planta mediante la medición de sus potenciales correspondientes y la resistencia a la difusión en la hoja. Semanalmente, en cada tratamiento se hizo la medición del índice de área foliar, la profundidad radical, el número de flores y el número de ejotes. Finalmente, se hizo un análisis de la biomasa total producida y el rendimiento de grano para cada tratamiento en función de la lámina consumida. No obstante

que el sistema se mantuvo en operación todo el ciclo del cultivo, en los tratamientos II y III se observó una disminución del potencial del agua en el suelo 55 días después de la siembra, posiblemente debido a un taponamiento de los poros de la cápsula, por los pelos absorbentes de las raíces y la precipitación del fertilizante dentro de los poros. Se observó que la resistencia a la difusión en la hoja durante la etapa de maduración aumentó, y el potencial del agua en las hojas alcanzó un valor de -12 bars medido a medio día. El análisis del rendimiento de grano resultó ser muy superior al compararlo con los rendimientos obtenidos por los métodos de riego tradicionales, concluyéndose que este método de riego es prometedor para este cultivo, y podría usarse en aquellos lugares donde la disponibilidad de agua es limitada.

Palabras clave: Cápsula porosa, Altura de succión, potencial del agua en la hoja, Potencial del agua en el suelo, Resistencia a la difusión.

### SUMMARY

The irrigation system involving the use of porous caps connected to a source of water, permits local and efficient application of water

---

Recibido 6-88.

to the crop. Moreover, this method permits the study of soil-plant water status with accuracy. An experiment was conducted in the lysimetric station of Chapingo, with the bean crop *Phaseolus vulgaris* L., variety Canario 107. The experiment consisted in submitting the crop to three soil moisture regime treatments. These treatments consisted in changing the filtration area in relation to the number of porous caps in operation and altering the suction height at different dates during the crop season. The soil and plant water status were studied taking the corresponding soil and leaf water potentials. Also, the leaf diffusion resistance was measured. The leaf area index, root depth, number of flowers, and number of pods were measured weekly. Finally, at harvest time, the total biomass and grain yield in each treatment were analyzed as a function of total depth of water applied. The results showed, that although the system was under operation all the time, in treatments II and III the soil water potential decreased 55 days after planting, probably due to the fact that the pores of the caps were plugged by the precipitation of the fertilizer and also because the root hairs penetrated into the pores of the caps. Leaf diffusion resistance increased during the maturity stage when the leaf water potential was about -12 bars, measured at midday. The grain yield obtained with this irrigation system was superior to that obtained with the traditional irrigation system method. We can conclude, that the suction irrigation method is good for this crop, and could be used in the future in agricultural areas where irrigation water is very limited.

Index words: Porous caps, Suction height, Leaf water potential, Soil water potential, Leaf resistance.

## INTRODUCCION

Uno de los métodos de aplicación del agua en los cultivos por subirrigación es el que se le ha denominado "riego por succión". Mediante este sistema de riego, el agua puede aplicarse eficientemente tanto desde el punto de vista operacional como fisiológico,

lo cual se refleja en mayores rendimientos por unidad de agua evapotranspirada (Olguín, 1975). Como se sabe, el sistema no requiere de una fuente de energía, ya que aprovecha las diferencias de potencial que operan entre el suelo (continuamente disecado por el proceso de evapotranspiración) y las cápsulas porosas (en contacto con el suelo), las cuales están conectadas a una fuente de abastecimiento de agua, lo que permite un suministro continuo, eficiente y localizado del agua en la zona radical del cultivo. Esto constituye una ventaja importante con respecto a cualquier otro método de riego y por esta razón se dice que la planta autoregula su propio régimen de humedad en función de las condiciones meteorológicas causantes de la evapotranspiración. El agua, proporcionada al suelo y al cultivo en esta forma, difícilmente puede alcanzar condiciones de saturación, por lo tanto la planta se desarrolla en buenas condiciones de aireación del suelo. Otra ventaja del método es la factibilidad de poder aplicar fertilizante disuelto en agua, el cual es aprovechado con alta eficiencia como lo demuestra el trabajo de García (1977) en cultivo de fresa.

Días (1977), Olguín (1975), y Morales (1978) han concluido en trabajos precedentes que los factores que toman parte en el flujo del agua a través de la pared de la cápsula porosa son: la demanda evapotranspirativa, la altura de succión, el espesor de la cápsula y la distribución del sistema radical. Teniendo como base lo anterior, los objetivos del presente trabajo son: (1) determinar el número de cápsulas por  $m^2$  y la altura de succión que permitan el abasto del agua al cultivo de frijol a lo largo de su estación de crecimiento; (2) estudiar la variación del potencial del agua en el suelo ( $\psi_s$ ) durante el ciclo del cultivo; (3) estudiar el estatus del agua en la planta a través de la medición del potencial del agua en la hoja ( $\psi_h$ ) y la resistencia a la difusión ( $r_g$ ); (4) determinar el coeficiente de desarrollo del cultivo (Kc); (5) estudiar el efecto del suministro del agua al cultivo por este método en su desarrollo y rendimiento.

La hipótesis planteada de acuerdo con los objetivos anteriores es: al variar la altura de

succión y el número de cápsulas en operación, se obtendrá diferente tasa de abastecimiento de agua bajo la misma condición de demanda evapotranspirativa lo cual tendrá un efecto diferencial en el desarrollo y rendimiento de las plantas.

### ANTECEDENTES

El uso de cápsulas porosas de barro no es una idea nueva. Durante 1908 Livingston inventó unos dispositivos para este fin a los cuales llamó autoirrigadores y los usó en su trabajo experimental, en donde las plantas se mantuvieron con un contenido de humedad prácticamente constante por largo tiempo. Originalmente estos dispositivos consistieron de una o más cápsulas de cerámica porosa, las cuales fueron instaladas dentro de unas macetas. La cápsula se llenó con agua proveniente de un depósito, cuyo nivel se localizó más abajo de la cápsula; a medida que el agua es removida del suelo por las raíces o por evaporación directa, el equilibrio entre el agua del suelo y el agua contenida en la pared porosa de la cápsula se rompe y el agua se mueve a través de la pared de la cápsula hacia el suelo y a la vez el agua dentro de la cápsula está continuamente reponiéndose proveniente de la fuente de abastecimiento. Este diseño requiere siempre de una continuidad capilar adecuada entre el suelo y la cápsula, lo que significa que el sistema puede fallar si la cápsula no tiene buen contacto con el suelo. Livingston empezó sus investigaciones con cápsulas porosas cilíndricas, pero detectó problemas de discontinuidad en el flujo atribuidos a gradientes de temperatura cuando hay altas tasas evapotranspirativas. Finalmente encontró que las cápsulas de forma cónica son mejores y se evita la discontinuidad en el flujo.

Korneff (1926), aplicando el mismo principio, diseñó otro tipo de dispositivos en forma de maceta que les llamó irrigadores de doble pared y reportó haber obtenido buenos resultados con el sistema. Este investigador mencionó que este tipo de dispositivos funciona bien bajo condiciones de baja tensión y bajas tasas evapotranspirativas. Korneff también observó que el consumo de agua de los cultivos irrigados con este método fue 6.5 veces menor que con el método de riego superficial.

En México, Olguín (1975), tomando en consideración estas ideas, diseñó otro procedimiento de construcción y de instalación de las cápsulas con diferentes propósitos, algunos de estos son: la medición del consumo de agua por los cultivos en forma volumétrica y en cortos intervalos de tiempo; ocasionar la variación del contenido de humedad del suelo cambiando la altura de succión y el número de cápsulas en operación; hacer estudios sobre movimiento de sales en el suelo, etc. Algunos de los resultados que se han obtenido con este método de riego se presentan a continuación.

En trigo, Dias (1977), con diferentes alturas de succión y espaciamiento entre cápsulas, logró aplicar diferentes volúmenes de agua y obtuvo una función de producción para este cultivo. Por otra parte García (1977), trabajando con fresa con este sistema, estudió el efecto de aplicar diferentes niveles de fertilización y diferentes densidades de población, concluyendo que se logra un ahorro de agua de ocho veces con respecto al sistema de riego por gravedad, además observó que la calidad del fruto fue mejor.

Morales (1978), utilizando este sistema en macetas bajo condiciones de invernadero en cultivos de tomate y frijol, observó que las sales son desalojadas fuera de la zona radical.

Coras (1979), trabajando con lechuga con diferentes tipos de cápsulas, comparó el rendimiento obtenido utilizando riego superficial y riego por succión logrando una producción superior con este último método. Finalmente, Rendón (1979) obtuvo un modelo de simulación del flujo del agua a través del sistema cápsula-suelo y llegó a concluir que, debido a la heterogeneidad entre las cápsulas y el taponamiento de los poros, resultó difícil simular el flujo del agua en el sistema en función del tiempo.

### MATERIALES Y METODOS

El experimento se realizó en el terreno que ocupa la Estación Lisimétrica del Centro de Hidrociencias del Colegio de Postgraduados

en Chapingo, México. Se sembraron 27 parcelas de 1 m<sup>2</sup> de superficie (Figura 1). Para evitar la incidencia de la lluvia en el lote experimental, se construyó una estructura de fierro galvanizado y sobre de ella se colocó plástico y únicamente se tapaba cuando llovía.

Las características físicas del suelo son: la textura es migajón arenosa de 0 a 70 cm de profundidad, franca en el espesor de 70 a 90 y migajón-arcillo-limoso de 90 a 120 centímetros. La densidad aparente promedio a través del perfil es de 1.37 g cm<sup>3</sup>, observándose una capa compactada entre 15 y 30 centímetros. La humedad aprovechable promedio es de 16.8%, la cual se incrementa ligeramente con la profundidad. En cuanto a las características químicas, el pH es ligeramente alcalino en las profundidades de 0 a 120 cm, y una conductividad eléctrica de 0.67 mmho/cm en promedio medida en el extracto de saturación del suelo.

Se sembró frijol variedad Canario 107 de hábito de mata con una duración de su ciclo vegetativo de 100 días. La fecha de siembra fue el 20 de junio con una densidad de 22 plantas por m<sup>2</sup>. La dosis de fertilizante fue 40-40-0 (N P K) y el fertilizante se aplicó disuelto en el agua desde el momento de la siembra.

Para el control de diferentes plagas que se presentaron durante el ciclo del cultivo se usaron los agroquímicos que se indican en el Cuadro 1.

Las cápsulas porosas que se utilizaron en la instalación del sistema de riego por succión fueron de dos tamaños cuyas características son las siguientes. Su forma fue cónica truncada, con una área filtrante de 247.5 y 483 cm<sup>2</sup>, respectivamente. Las cápsulas fueron construidas de halloisita, cocidas a 850°C durante 4 horas. La porosidad promedio fue

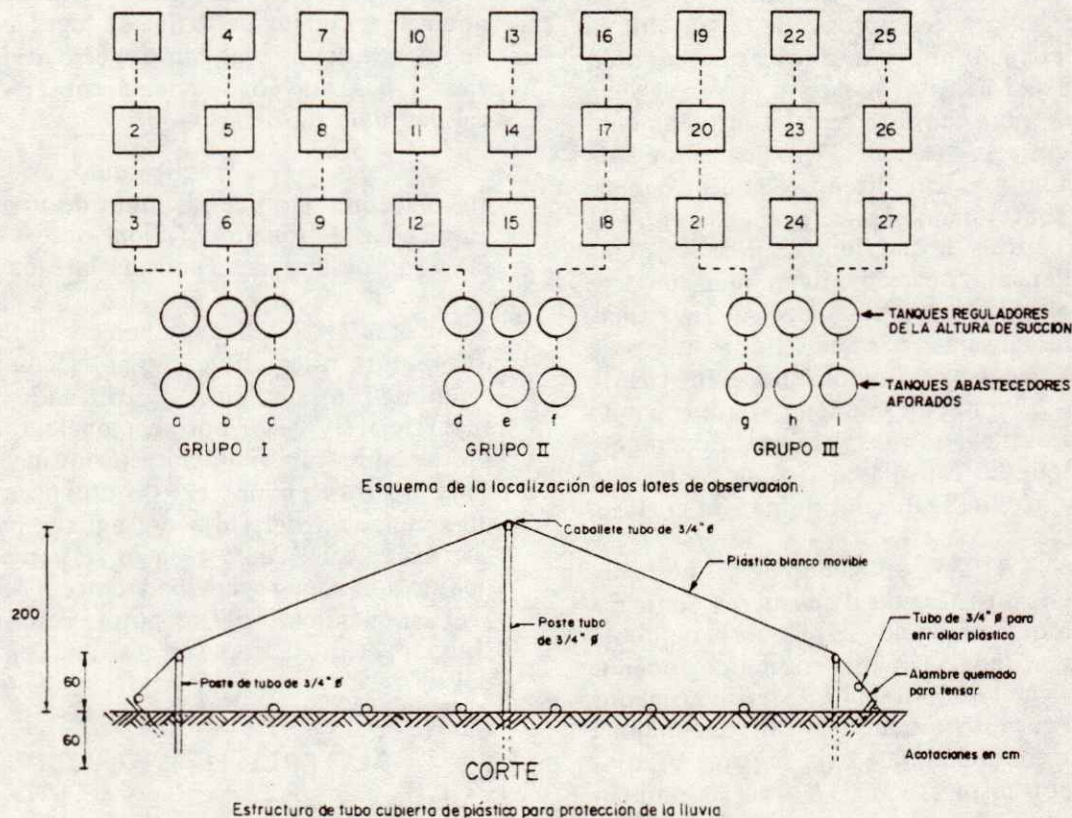


Figura 1. Esquema general en planta y en corte de la instalación del experimento.



Cuadro 1. Aplicaciones de agroquímicos.

Producto	DDS <sup>1)</sup>	Plaga
Aldrín granulado al 20%	Preemergente	<u>Diabrotica</u> spp.
Sevin al 80%	17	<u>Trialeurodes</u> spp.
Folidol	30	<u>Epilachna v.</u> Muls.
Folidol	35	<u>Epilachna v.</u> Muls.
Sevin 80%	42	<u>Trialeurodes</u> spp.
Paratión metílico 50%	58	<u>Aphis</u> spp.
Paratión metílico 50%	79	<u>Aphis</u> spp.

<sup>1)</sup> Días después de la siembra.

de 43% y la conductividad hidráulica de 0.001 cm/h (Figura 2). La instalación de las cápsulas en cada parcela se ilustra en la Figura 3, donde puede observarse la localización del tanque alimentador, el tanque para regular la altura de succión y la distribución de las líneas de cápsulas en cada parcela. Entre las parcelas se excavaron zanjas de 60 cm de profundidad, donde se colocó tubería de PVC de 1/2" de diámetro para conducir el agua de la fuente de abastecimiento hacia cada parcela, asimismo se instaló al final de cada tubería un tubo de plástico rígido de 2" de diámetro, el cual sirvió como vaso comunicante para purgar el sistema cuando se inició el funcionamiento. Todas las conexiones se pegaron con Resistol 5000 para evitar la entrada de aire y fugas de agua. Como fuente de abastecimiento de agua se instaló un tanque de 200 l previamente aforado, al cual se le adaptó una escala graduada para hacer las lecturas del consumo de agua.

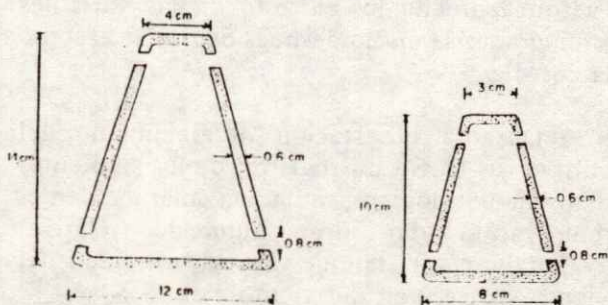


Figura 2. Tipos de cápsula utilizada en el experimento.

Este tanque se conectó mediante una tubería a otro, el cual estaba enterrado y cuyo nivel del agua era controlado con una válvula de flotador. El nivel del agua en este último tanque fue inferior con respecto al nivel donde quedaron instaladas las cápsulas. Las conexiones del sistema fueron hechas de tal manera que cada tanque abasteció tres parcelas.

Una vez hecha la instalación se llenaron las tuberías y cápsulas con agua y se procedió a purgar el sistema. Antes de tapar con suelo el sistema, se verificó que no hubiera fugas. Las cápsulas, al taparse, quedaron cubiertas por una capa de suelo de 5 centímetros.

Las 27 parcelas se dividieron en tres grupos de nueve parcelas cada uno. Las parcelas de los grupos I y II tuvieron instaladas 64 cápsulas grandes por m<sup>2</sup> a un espaciamiento de 12 cm entre líneas y 12 cm entre cápsulas. Las parcelas del grupo III tuvieron instaladas cápsulas chicas a razón de 20 cápsulas por m<sup>2</sup> a una separación de 20 cm entre líneas y 20 cm entre cápsulas.

Los tratamientos de abastecimiento de agua a cada grupo se indican en el Cuadro 2.

Con el fin de dar seguimiento al estatus del agua en el suelo y en la planta, se midieron simultáneamente los potenciales del agua en el suelo y en la hoja en diferentes fechas después de la siembra, iniciándose las observaciones a

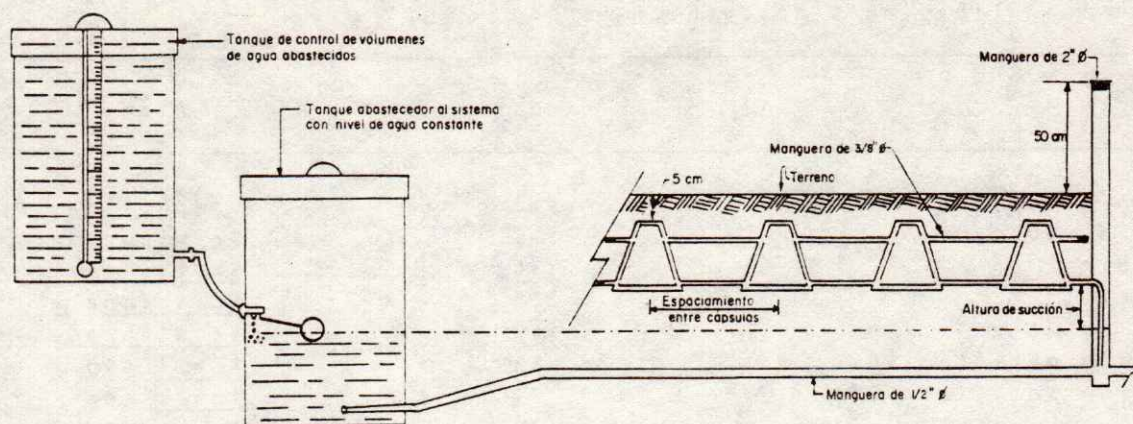


Figura 3. Corte longitudinal de la instalación del sistema de riego por succión.

partir del segundo mes y con una frecuencia semanal en promedio.

Paralelamente a la medición del potencial del agua en la hoja se midió la resistencia a la difusión. El potencial del agua en la hoja se midió utilizando una cámara psicrométrica portátil marca Wescor Inc., Modelo C-51, previamente calibrada. La hoja seleccionada para medir el potencial, se procuró que estuviese totalmente expuesta a la radiación solar y fuese recientemente madura y completamente sana. Las mediciones se hicieron entre las 12 y las 14 horas. Antes de tomar la muestra de tejido de la hoja para medirle el potencial, se le medía la resistencia a la difusión y la temperatura utilizando un porómetro de difusión marca Lambda modelo LI-60 con un sensor tipo L5 205, también calibrado previamente. El potencial del agua en el suelo se midió con la misma cámara psicrométrica y las muestras del suelo se obtuvieron con una barrena tipo Vehimeyer de 1/2" de diámetro a una profundidad de 15 centímetros. De las observaciones antes descritas se hicieron tres repeticiones de cada tratamiento.

El crecimiento del cultivo se observó a través de las siguientes mediciones: área foliar, crecimiento radical, número de hojas, número de flores, número de ejotes por planta, biomasa total producida por parcela, rendimiento de grano, peso de 100 granos,

número de granos en 100 gramos y finalmente se muestrearon 20 vainas por parcela, con el fin de observar el porcentaje de granos abortados.

Se midió el área foliar utilizando un método no destructivo que consistió en dibujar el contorno de las hojas sobre papel, el cual fue recortado posteriormente; se determinó el área en un integrador de área foliar marca Hayashi Denko Co., modelo AM-5. Se midió el desarrollo radical removiendo el suelo cuidadosamente a un lado de la planta y se observaba la profundidad de las raíces e inmediatamente se volvía a tapar. Estas observaciones fueron hechas semanalmente.

El número de hojas, el número de flores y el número de ejotes por planta se cuantificaron semanalmente conforme fueron apareciendo; el resto de las variables enumeradas se midió después de que se efectuó la cosecha.

Durante la estación de crecimiento del cultivo se llevó un registro de los siguientes datos meteorológicos: radiación solar incidente, temperatura del aire, humedad relativa, evaporación del tanque tipo A, velocidad del viento y dirección del viento.

El consumo de agua en cada tratamiento se midió diariamente.

Cuadro 2. Tratamientos de abastecimiento de agua.

Tratamiento		Días después de la siembra				
		0-10	11-20	21-34	35-55	56-99
I	h <sup>1)</sup>	10	20	20	No se regó	30
	n <sup>2)</sup>	64	64	32	No se regó	32
II	h	10	20	20	30	30
	n	64	64	32	32	32
III	h	10	10	10	10	10
	n	20	20	20	20	20

1) Altura de succión en cm.

2) Número de cápsulas en operación.

### RESULTADOS Y DISCUSION

Las aportaciones de agua que se registraron para la combinación de diferentes números de cápsulas en operación por metro cuadrado y diferentes alturas de succión se presentan en el Cuadro 3.

Las observaciones del potencial del agua en la hoja y del potencial del agua en el suelo a lo largo del ciclo del cultivo se presentan en la Figura 4. En todos los tratamientos se observa que ambos potenciales tienden a disminuir a medida que avanza el ciclo del cultivo,

pudiéndose detectar en el tratamiento I una disminución del potencial del agua en el suelo de -5.7 bars durante el periodo comprendido entre los 55 DDS, debido a la suspensión del suministro de agua al sistema. Sin embargo, esta situación tuvo un efecto no significativamente diferente en el potencial del agua en la hoja con respecto a los otros tratamientos según se observa en la Figura 4. Después de los 55 DDS el suministro de agua se volvió a reanudar, observándose una tendencia del potencial del agua en el suelo en forma similar a la del tratamiento II. En el caso del tratamiento III se observa que a partir de los 47 DDS, cuando el cultivo había desarrollado su mayor área

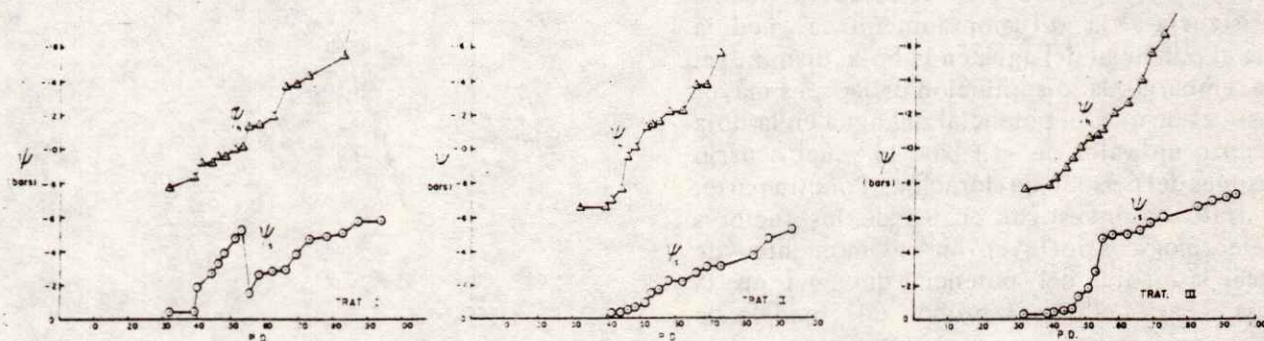


Figura 4. Variación de potencial del agua en el suelo y en la hoja con respecto al porcentaje de desarrollo de cada tratamiento.

Cuadro 3. Volúmenes de agua aportados para diferentes combinaciones de número de cápsulas en operación y altura de succión.

Cápsulas por m <sup>2</sup>	Altura de succión	Area filtrante	Gasto unitario
	cm	cm <sup>2</sup>	l/m <sup>2</sup> /día
64 grandes	20	30,912	10.2
32 grandes	20	15,456	5.47
32 grandes	30	15,456	3.23
20 chicas	10	4,950	3.07

foliar, el potencial del agua en el suelo bajó rápidamente para posteriormente seguir bajando a una tasa menor. Es importante hacer notar que, aunque el abastecimiento de agua durante todo el ciclo del cultivo se mantuvo uniforme, en este tratamiento se observa que el potencial del agua en el suelo presenta una tendencia a disminuir conforme avanza el ciclo del cultivo, debido posiblemente a un taponamiento de los poros de la cápsula a causa de la precipitación del fertilizante dentro de los poros, de manera que cuando se incrementa la demanda evapotranspirativa la conductividad hidráulica de la cápsula no es capaz de abastecer de agua al suelo a la misma tasa.

En la Figura 5 se observa que la resistencia a la difusión aumentó a medida que el potencial del agua en la hoja disminuye, sin embargo, la disminución de la  $r_s$  es mayor después de que el potencial del agua en la hoja alcanzó un valor de -12 bars lo cual ocurrió después del periodo de floración. Por otra parte, se trató de investigar cuales de los factores meteorológicos influyen en el momento de hacer la medida del potencial del agua en la hoja. Para ello se probó un modelo de regresión el cual se hizo intervenir la temperatura de la hoja, la temperatura ambiente, la humedad relativa (HR), la velocidad del viento (VV), la resistencia a la difusión

( $r_s$ ), y la edad de la planta expresada como porcentaje de desarrollo (PD). Obteniéndose:

$$\Psi_h = -7.750 - 0.219r_s - 20.541PD + 0.015HR/VV$$

$$r^2 = 0.70$$

Después de analizar el potencial del agua en la hoja, en función de los factores anteriormente mencionados como variables independientes, se encontró que la velocidad del viento y la humedad relativa son los factores que más afectan la medición. En la

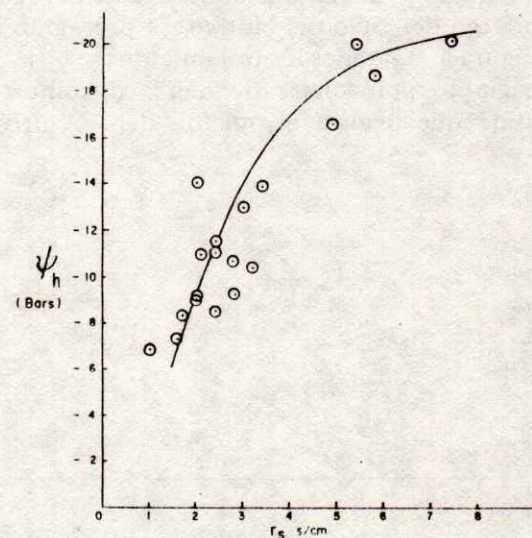


Figura 5. Relación entre el potencial del agua en la hoja y la resistencia a la difusión.

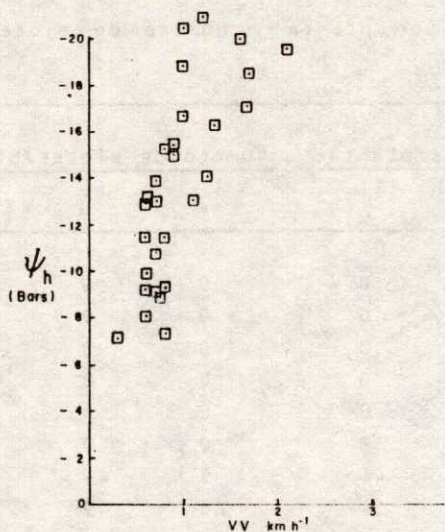


Figura 6. Relación entre el potencial del agua en la hoja y la velocidad del viento.

Figura 6 se presenta una gráfica en que se relaciona el potencial del agua en la hoja con respecto a la velocidad del viento, observándose que a medida que aumenta la velocidad del viento, el potencial del agua en la hoja disminuye. Utilizando la misma técnica se obtuvo un modelo de regresión en el que se relacionó el potencial del agua en la hoja de la resistencia a la difusión y el porcentaje de desarrollo.

$$\Psi_s = 1.418 = 0.274\Psi_h - 7.877PD^4 - 0.000038r_s^4$$

$$r^2 = 0.73$$

De acuerdo con lo anterior se concluye que el potencial del agua en la hoja, la resistencia a la difusión y el porcentaje de desarrollo son las variables de que depende el potencial del agua en el suelo.

En la Figura 7 se indica el área foliar de cada uno de los tratamientos. Con esta información se calculó el índice de área foliar medio, para cada uno de ellos, obteniéndose los siguientes valores: 2.652, 3.502 y 3.888, respectivamente; como puede verse son índices de área foliar altos. Como es de esperarse el índice de área foliar menor se registró en el tratamiento I debido a que se suspendió el suministro de agua de los 35 a 55 días DDS.

En el Cuadro 4 se detalla el índice de área foliar, el número de flores por planta, y el número de ejotes por planta en cada tratamiento. Se observa que la floración en todos los tratamientos se inicia antes de que las plantas desarrollan su máxima área foliar (después de los 45 DDS). El periodo de floración duró aproximadamente 20 días. Asimismo se observa que en el tratamiento I el número de flores y el número de ejotes son menores con respecto a los otros dos tratamientos, lo que indica que la suspensión del riego en el tratamiento I afectó en cierto grado la formación de flores. También se puede observar que el incremento de la tasa del IAF decrece justamente en el momento en que se inicia la floración y el IAF llega al máximo cuando finaliza el periodo de

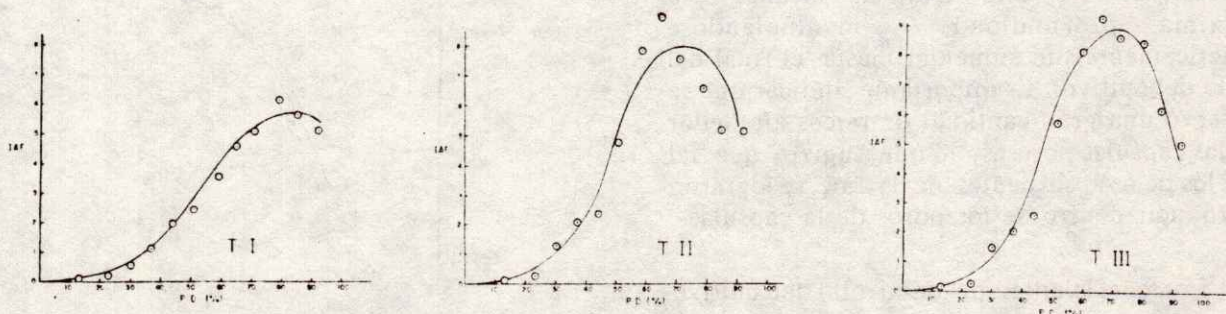


Figura 7. Variación estacional del índice de área foliar (IAF) de cada tratamiento.

Cuadro 4. Índice de área foliar, número de flores por planta y número de ejotes por planta, en cada tratamiento.

DDS <sup>1)</sup>	IAF <sup>2)</sup>			Número de flores/planta			Número de ejotes/planta		
	I	II	III	I	II	III	I	II	III
0-13	0.102	0.115	0.146	0	0	0	0	0	0
14-23	0.234	0.235	0.277	0	0	0	0	0	0
24-30	0.564	1.289	1.531	0	0	0	0	0	0
31-37	1.078	2.011	2.041	0	0	0	0	0	0
38-44	1.950	2.310	2.591	0	0	0	0	0	0
45-51	2.415	4.735	5.717	25	32	32	0	0	0
52-59	3.572	7.800	8.154	20	47	44	5	49	45
60-65	4.598	9.287	9.244	18	13	14	23	49	59
66-71	5.055	7.517	8.581	0	0	0	28	36	59
72-79	6.046	6.541	8.474	0	0	0	31	25	59
80-85	5.596	5.178	6.180	0	0	0	38	27	21
86-92	5.095	5.169	5.071	0	0	0	38	21	16

1) Días después de la siembra.

2) Índice de área foliar.

floración. Hsiao y Bradford (1983) indican que durante el período de floración el crecimiento vegetativo disminuye debido a la preferencia de la translocación de asimilados a los órganos reproductivos. Por otra parte se observa que en el tratamiento I, después de que se reanudó el suministro de agua en las plantas, se recuperaron incrementando su área foliar.

En la Figura 8 se indica la dinámica del crecimiento radical, observándose que después de que la planta llegó a su máximo desarrollo vegetativo, la raíz también alcanzó la máxima profundidad, manteniéndose prácticamente sin aumentar hasta el final del ciclo del cultivo. Es importante indicar que se observó una gran cantidad de raíces alrededor de las cápsulas porosas, lo que sugiere que tal vez los pelos absorbentes de la raíz se lograron introducir dentro de los poros de la cápsula.

Los coeficientes de desarrollo del cultivo (Kc) para cada tratamiento se presentan en el Cuadro 5. Se puede observar una gran variabilidad entre los tratamientos. En primer lugar, esto se debió al efecto del régimen de

humedad en cada tratamiento y, en segundo lugar, a la heterogeneidad de las cápsulas porosas (Figura 9). En los tratamientos I y II, durante los primeros 23 DDS, no fue posible obtener información razonable de los consumos de agua siendo éstos muy altos, debido a que el número de cápsulas en operación fue de 64 y la altura de succión de 10 centímetros. Por otra parte, al tratamiento I se le suspendió el abastecimiento de agua de los 32 a los 55 DDS

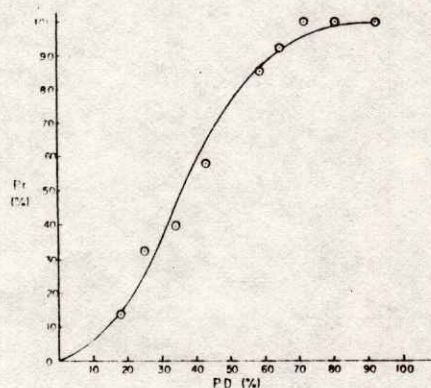


Figura 8. Relación entre el porcentaje de desarrollo (PD) y la profundidad radical (Pr).

Cuadro 5. Evaporación del tanque tipo A, evapotranspiración potencial (ET<sub>p</sub>), y coeficiente de desarrollo calculados para diferentes periodos en cada tratamiento.

DDS <sup>1)</sup>	E <sub>v</sub> <sup>2)</sup>	ET <sub>p</sub> <sup>3)</sup>	ET <sub>r</sub> <sup>4)</sup>			Kc <sup>5)</sup>		
			Tratamientos			Tratamientos		
			I	II	III	I	II	III
	----- mm -----							
00-13	4.29	3.43	-	-	2.94	-	-	0.86
14-23	3.98	3.19	-	-	2.71	-	-	0.85
24-30	4.36	3.49	5.74	3.84	2.81	1.64	1.10	0.81
31-37	5.08	4.07	-	3.87	3.50	-	0.95	0.86
38-44	4.33	3.47	-	4.96	4.09	-	1.43	1.18
45-51	4.29	3.43	-	4.60	3.06	-	1.34	0.89
52-59	5.51	4.41	3.4	4.18	3.39	0.77	0.95	0.77
60-65	4.06	3.25	3.02	4.02	3.18	0.93	1.24	0.98
66-71	4.35	3.48	3.65	3.92	2.54	1.04	1.14	0.73
72-79	4.07	3.26	3.01	3.40	1.88	0.92	1.04	0.58
80-85	3.17	2.54	2.78	2.63	1.43	1.09	1.04	0.56
86-92	4.63	3.71	2.38	2.50	0.75	0.64	0.67	0.20

- 1) Días después de la siembra
- 2) Evaporación del tanque tipo A.
- 3) Evapotranspiración potencial  $ET_p = 0.8 E_v$

- 4) Evapotranspiración real
- 5) Coeficiente de desarrollo del cultivo

y no se tuvieron registros durante este período. En general, los valores del Kc permanecieron altos una vez que el cultivo cubrió la superficie del terreno.

En el Cuadro 6 se reportan para cada tratamiento los valores promedio observados de la lámina total consumida, la producción total de biomasa con base en peso seco, el rendimiento de grano, el rendimiento de paja, entre otros datos. Se observa que los mayores rendimientos de grano correspondieron al tratamiento II, mientras que los mayores rendimientos de paja correspondieron al tratamiento III, siendo también este último donde se observó un mayor índice de área foliar (Cuadro 4).

En la Figura 10 se graficó el rendimiento de grano en función de la lámina consumida para cada tratamiento. Con los datos de todas las observaciones (no se presentan) se obtuvo un modelo de regresión de tipo cuadrático el cual se indica a continuación.

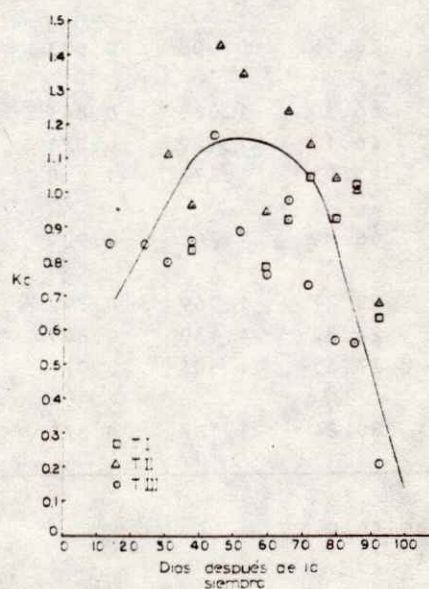


Figura 9. Coeficientes de desarrollo observados en cada uno de los tratamientos en diferentes días después de emergencia.

$$RG = -0.283 + 0.421L + 0.0046L^2$$

De acuerdo con esta ecuación al obtener su máximo, se encontró que con este sistema de riego con una lámina de 45.27 cm se pueden obtener 9.246 kg/m<sup>2</sup> de grano siendo este resultado muy superior al rendimiento que se obtiene con los métodos de riego por surcos, el cual es el convencional para este cultivo.

En el Cuadro 6 se presentan los valores promedio del número de semillas en 100 g y el peso de 100 semillas, detectándose que las semillas del tratamiento III fueron las más pequeñas. Además pudo observarse que en este tratamiento se detectó un mayor número de

ejotes y mayor índice de área foliar, lo que indica que en la etapa de llenado de grano y maduración, la translocación de asimilados hacia el grano fue menor que en el tratamiento II, tal vez debido a que el potencial del agua en el suelo y en la planta en el tratamiento III, fue más bajo que en el tratamiento II.

También en el Cuadro 6 se consignan los valores promedio del muestreo de 20 vainas por parcela en cada tratamiento. Se encontró que en las vainas muestreadas se obtuvieron de 2 a 7 granos, observándose que el mayor número de abortos ocurrió en vainas que tenían de 2 a 3 granos. El tratamiento III tuvo el mayor porcentaje de granos abortados lo que confirma lo anteriormente dicho.

Cuadro 6. Lámina consumida, biomasa producida y análisis del rendimiento obtenido en cada tratamiento.

T <sup>1)</sup>	R <sup>2)</sup>	L <sup>3)</sup>	BT <sup>4)</sup>	RG <sup>5)</sup>	RP <sup>6)</sup>	NS <sup>7)</sup>	PS <sup>8)</sup>	GB <sup>9)</sup>	GA <sup>10)</sup>	EUA <sup>11)</sup>	EUA <sup>12)</sup> g
		cm	kg/m <sup>2</sup>	kg/m <sup>2</sup>	kg/m <sup>2</sup>		g	%	%		kg/m <sup>3</sup>
I	1	27.01	0.973	0.737	0.236	237	42.83	87.7	12.3	3.6	2.7
	2	34.38	0.880	0.674	0.206	234	43.87	83.9	16.1	2.5	2.0
	3	24.26	0.871	0.669	0.202	231	43.93	89.5	10.5	3.4	2.8
$\bar{x}$		28.55	0.908	0.693	0.215	234	43.54	87.03	13.0	3.1	2.4
II	1	56.30	1.088	0.843	0.245	242	42.80	90.9	9.1	1.9	1.5
	2	46.18	1.129	0.871	0.258	238	43.60	92.1	7.9	2.4	1.9
	3	43.93	1.372	1.058	0.314	237	44.30	87.1	12.8	3.1	2.4
$\bar{x}$		48.80	1.204	0.924	0.272	239	43.56	90.0	10.0	2.5	1.9
III	1	28.27	1.069	0.799	0.270	265	39.43	85.5	14.5	3.8	2.8
	2	24.82	1.130	0.849	0.281	247	41.10	86.0	14.0	4.6	3.4
	3	37.65	1.303	0.977	0.326	244	43.32	87.5	12.5	3.5	2.6
$\bar{x}$		30.24	1.167	0.875	0.292	252	41.28	86.3	13.7	3.9	2.9

- 1) Tratamiento
- 2) Repetición
- 3) Lámina
- 4) Biomasa total
- 5) Rendimiento de grano
- 6) Rendimiento de paja
- 7) Número de semillas en 100 g

- 8) Peso de 100 semillas
- 9) Porcentaje de granos buenos
- 10) Porcentaje de granos abortados
- 11) Eficiencia en el uso del agua
- 12) Eficiencia en el uso del agua para la producción de grano



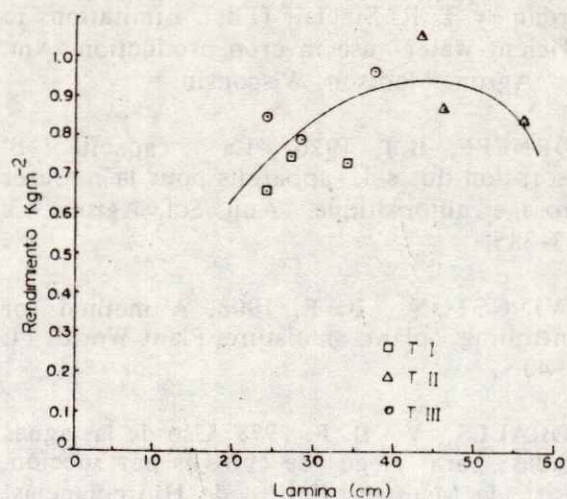


Figura 10. Rendimiento obtenido en función de la lámina consumida en cada uno de los tratamientos.

El mayor porcentaje de granos buenos fue en el tratamiento II, mientras que en el tratamiento I el efecto de la suspensión del riego se manifestó en un índice de área foliar menor, un menor número de frutos y que a la vez se combinó con un problema de translocación de asimilados hacia el grano durante la etapa de maduración.

En general se observa que el promedio de todos los tratamientos, el 87.8%, fueron granos buenos, lo que sugiere que con este método se logra mantener al suelo en condiciones favorables de humedad para el desarrollo de este cultivo en la etapa de maduración.

Finalmente en el Cuadro 6 se presentan los valores calculados de la eficiencia del uso del agua desde el punto de vista fisiológico (EUA) y la eficiencia del uso del agua desde el punto de vista agronómico (EUA<sub>a</sub>) observándose que el tratamiento III fue el más eficiente. Por lo que se refiere a los tratamientos I y II, los datos de eficiencia obtenidos deben ser interpretados con reservas, debido a que durante el inicio del experimento no fue posible la contabilización con precisión de la lámina consumida.

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

1. Este sistema de riego permitió abastecer de agua al cultivo de frijol durante todo su ciclo de desarrollo. Aunque los resultados obtenidos en este trabajo con respecto al número de cápsulas en operación y la altura de succión son preliminares, se encontró que una superficie filtrante de 1.5 m<sup>2</sup> por m<sup>2</sup> de terreno y una altura de succión entre 20 y 30 cm resultaron ser las que mantuvieron al suelo en mejores condiciones de humedad para el desarrollo y rendimiento de grano de este cultivo.

2. No obstante que el sistema de riego siempre se mantuvo operando continuamente, como lo fue en los casos de los tratamientos II y III se observó que el potencial del agua en el suelo y el potencial del agua en la hoja disminuyen a medida que avanza el ciclo del cultivo, lo que sugiere que con el tiempo la conductividad hidráulica de la cápsula decrece. Esto puede ser debido a la pérdida parcial o total de la continuidad de la geometría porosa entre el suelo y la superficie externa de la cápsula, y al taponamiento de los poros por el fertilizante precipitado.

3. Este sistema permite realizar estudios detallados del sistema agua-suelo-planta, debido a que se puede manipular el sistema para ocasionar variaciones en el régimen de humedad del suelo.

4. El rendimiento de grano obtenido es muy superior con este sistema de riego comparado con el método de riego tradicional, por lo que es conveniente evaluar este sistema de riego.

5. Si bien los rendimientos fueron altos, hay que recordar que hubo que hacer varias aplicaciones de agroquímicos para el control de algunas plagas que se presentaron.

6. Es recomendable volver a repetir el trabajo a nivel experimental con el fin de confirmar los resultados obtenidos en este trabajo tomando en consideración las experiencias adquiridas.

7. Este método podría ser de utilidad para aquellas zonas donde la disponibilidad de agua es limitada.

#### LITERATURA CITADA

- CORAS, M. P. M.** 1979. Efecto del riego por succión con tres formas de cápsulas porosas sobre rendimiento de lechuga (*Lactuca sativa* L.) Tesis de Maestría. Colegio de Postgraduados, Chapingo, Méx.
- DIAS, S. E.** 1977. Determinación de la evapotranspiración en trigo mediante riego por succión. Tesis de Maestría. Colegio de Postgraduados, Chapingo, Méx.
- GARCIA, R. C. A.** 1977. Efecto del riego por succión sobre la potencialidad de rendimiento de la fresa y eficiencia en el uso del agua. Tesis de Maestría. Colegio de Postgraduados, Chapingo, Méx.
- HSIAO, T. C. y K. J. BRADFORD.** 1983. Physiological consequences of cellular water deficits. pp. 227-265. In: H. M. Taylor, W. R. Jordan y T. R. Sinclair (Eds). Limitations to efficient water use in crop production. Am. Soc. Agron, Madison, Wisconsin.
- KORNEFF, B.J.** 1926. La capacité d'adsorption du sol, appareils pour la mesurer arrosage automatique. Ann. Sci. Agron. 43: 353-385.
- LIVINGSTON, B. E.** 1908. A method for controlling plant moisture. Plant World. 11: 39-40.
- MORALES, V. D. F.** 1978. Uso de las aguas saladas para riego de cultivos por succión. Tesis de Maestría. Centro de Hidrociencias, Colegio de Postgraduados, Chapingo, Méx.
- OLGUIN, P. C.** 1975. Riego por succión; descripción del método y avances en la investigación. pp. 165-181. Memorias 1er. Seminario Nac. de Riego por Goteo. Hermosillo, Son. Tomo II.
- RENDON, P. L.** 1979. Desarrollo y calibración preliminar de un modelo matemático para riego por succión. Tesis de Maestría. Colegio de Postgraduados, Chapingo, Méx.

## RELACION ENTRE INDICES DE CRECIMIENTO EN MAIZ Y EL EFECTO DE LA APLICACION DE NITROGENO Y FOSFORO AL SUELO

Effects of Nitrogen and Phosphorus Additions on Growth Index for Maize.

Octavio Pérez-Zamora

INIFAP-Tecomán. Campo Experimental Tecomán, Apartado Postal 88,  
28100 Tecomán, Colima, México.

### RESUMEN

La aplicación de N y P a un suelo calcáreo fue estudiada en invernadero con el propósito de relacionar la adición de fertilizantes con la ontogenia de las plantas de maíz y estimar la posibilidad de usar un índice de crecimiento durante la etapa vegetativa. Este índice se denominó Plastocrón y se calculó efectuando mediciones de la elongación de los entrenudos, de la base de la lígula de una hoja inferior a la base de la lígula de una hoja inmediata superior de plantas de maíz a intervalos de cinco días.

Los resultados mostraron que ambos, N y P, estuvieron altamente correlacionados (93.5%) con el rendimiento de grano, con el desarrollo ontogénico de las plantas y con la producción de materia seca. El efecto tuvo una relación lineal durante la etapa vegetativa. Las aplicaciones altas de N (600 ppm) combinadas con niveles bajos de P (100 ppm) se asociaron con un índice de plastocrón menor. Con relaciones de N bajas (200 ppm) y altas de P (300 ppm) un efecto opuesto al anterior fue observado, mientras que para relaciones de N:P de 2:1 se tuvo un efecto intermedio.

---

Recibido 6-88.

El índice de crecimiento puede ser pertinente para el uso de niveles críticos y con el propósito de definir el estado nutricional de las plantas; ya que esto puede permitir comparar plantas de una misma edad de desarrollo, evitando las variaciones que comúnmente se observan al comparar los tratamientos de una misma edad cronológica. Sin embargo, información adicional es requerida para conocer su comportamiento en condiciones de campo.

Palabras clave: Plastocrón, Índice de crecimiento.

### SUMMARY

In order to find a vegetative index related to grow development of maize, nitrogen and phosphorus additions to a calcareous soil were studied under greenhouse conditions. The index was called plastochron and was estimated by measuring shoot elongation between two completely developed successive leaves at five days intervals.

Both, N and P, were highly correlated to grain yield (93.5%), ontological development and the production of dry matter. The effect was linear from emergence to 45 days after pollination (Silk).

The low plastochron index values were associated with high doses of N and low applications of P. In contrast, high phosphorus application and low doses of N showed high plastochron index. A N:P relation 2:1 had an intermediate effect.

The index was linear with time and may be useful to determine critical levels in order to overcome differences between morphological stages for plants of the same chronological age. However, additional information is required in order to know how plastochron behaves under field conditions.

Index words: Plastochron index: Growing stages, plastochron.

### INTRODUCCION

En muchos estudios sólo se pueden relacionar aspectos simples del desarrollo de los organismos directamente con el tiempo. Por ejemplo, si se estudia la elongación de las hojas, se puede medir su longitud o anchura durante varios días o semanas sin lesionarlas, pero en muchos casos los estudios implican destrucción del material de estudio; incluso la simple estimación de materia seca no puede ser obtenida sin afectar al espécimen bajo estudio.

Por otra parte, al graficar las observaciones provenientes de análisis químicos, estudios metabólicos u otros, contra el tiempo se obtiene una gran variación, a menos que se esté trabajando con materiales genéticos uniformes y bajo condiciones controladas; es común que la variación sea tan grande que plantas de la misma edad cronológica hayan llegado a una edad morfológica diferente. En contraste, plantas que son morfológicamente similares pueden ser de diferente edad cronológica. Bajo estas circunstancias relaciones significativas pueden resultar confusas, incluso tomando la precaución estadística de utilizar grandes muestras de plantas.

Las dificultades confrontadas anteriores pueden minimizarse por el uso de índices

numéricos, de tal manera que sea posible relacionar estadios de crecimiento con tiempo, y aplicación de niveles de fertilización o de humedad. Sin embargo, los índices numéricos deben estar basados en medidas u observaciones que no dañen al espécimen muestreado.

El objetivo del presente trabajo fue con el propósito de identificar un índice numérico y el de relacionar las aplicaciones de N y P a suelos calcáreos con la ontogenia de plantas de maíz.

### REVISION DE LITERATURA

Existen referencias sobre la derivación de índices de crecimiento que involucran medidas no destructivas. Entre las más importantes se encuentran la de Erickson y Michelini (1957), Erickson (1947;1976), Loomis *et al.*, (1971) y Coleman y Greyson (1976). En adición, estas relaciones son de naturaleza cuantitativa y contrastan con las observaciones cualitativas realizadas por Hanway (1963).

Las plantas utilizadas han sido Xanthium, tomate y otras, sin embargo, no existen referencias con respecto a maíz. En este renglón Pérez (1979) reportó que la elongación de hojas y entrenudos sucesivos mostró una estrecha asociación lineal con el tiempo, y que la aparición de hojas liguladas y entrenudos podía predecirse con una aproximación de horas en un estudio de invernadero. El tiempo promedio de iniciación de hojas consecutivas y liguladas fue de 2.39 y 4.69 días, respectivamente (Pérez, 1979).

Las ventajas de estos procedimientos, sobre el desarrollo de las flores y anteras de Lilium fueron ilustradas por los estudios de Erickson (1947; 1948), y de Ogur *et al.* (1951). En estos trabajos los logaritmos de la elongación de los botones florales mostraron una relación lineal con el tiempo y sirvieron como índice del desarrollo de órganos y procesos que tomaron lugar en las flores; dichos investigadores relacionaron varias mediciones y observaciones con el índice, construyeron curvas de crecimiento y calcularon tasas de

cambio en los botones florales y anteras. En adición, esta técnica sirvió para estimar la variabilidad ambiental.

### MATERIALES Y METODOS

El estudio se estableció en el invernadero. Doce kg de un suelo calcáreo del subgrupo Típico Xerorthent fueron utilizados por maceta. Las características seleccionadas del suelo se muestran en el Cuadro 1. Los niveles de N y P aplicados se indican en el Cuadro 2; cada tratamiento se repitió tres veces. El diseño de tratamientos fue completamente al azar. Las macetas se rotaron dentro del invernadero a intervalos semanales durante los primeros 60-70 días; esto con la finalidad de que tuvieran la misma luminosidad y condiciones comparables en su crecimiento. Todas las macetas del ensayo recibieron S como  $MgSO_4$  (50 ppm SO), K como KCl (50 ppm K), Fe como Sequestrene-138 (25 ppm Fe) y Zn como  $ZnSO_{4.7}H_2O$  (25 ppm Zn). El suelo y las soluciones de fertilizantes se homogeneizaron en una revolvedora de concreto y se colocaron en macetas de plástico con drenaje restringido (sin orificios); esto se hizo con el propósito de evitar pérdidas por drenaje de agua y mantener un poco más largo el intervalo de suplemento de agua.

Cuadro 1. Características seleccionadas del suelo utilizado en el estudio.

Características	Valor
pH (pasta saturada)	7.8
CE (extracto de saturación)	0.30 mmho/cm a 25°C
P extractable con $NaHCO_3$ <sup>1)</sup>	4.9 ppm
$Ca^{2+}$ (en extracto de saturación)	2.0 meq/l
$Mg^{2+}$ (en extracto de saturación)	2.0 meq/l
$K^+$	132.0 ppm
$Zn^{2+}$	0.52 ppm
N total	0.082 %
Arena	35.0 %
Limo	44.0 %
Arcilla	21.0 %

<sup>1)</sup> 0.5 M  $NaHCO_3$  a pH 8.5

Las semillas de la variedad "PX-20" se colocaron en un papel humedecido con una solución de 0.2 nM de  $CaSO_4$  sobre una rejilla de metal. Cuarenta y ocho horas más tarde se seleccionaron cuatro semillas homogéneas y se plantaron en las macetas; una semana más tarde la población se aclaró a tres plantas. Sobre la superficie del suelo se añadió "aserrín" para reducir la evaporación. El potencial de humedad del suelo se mantuvo cercano a 0.3 barias y se añadió agua destilada cuando fue necesario. Para observar que el tratamiento de humedad se mantuviera cercano a 0.3 barias se colocó un tensiómetro en cada una de las macetas añadiéndole el agua necesaria para ello.

### Mediciones.

El índice de plastocrón fue calculado efectuando mediciones de la elongación de cada uno de los entrenudos de cada una de las tres plantas por tratamiento, de la base de lígula de una hoja inferior a la base de la lígula de una hoja superior inmediata a intervalos de cinco días. La lectura de los entrenudos se hizo hasta que la elongación fue constante y el crecimiento del entrenudo se detuvo. La lectura promedio de la elongación de los entrenudos de las tres plantas por tratamiento se utilizó para calcular el plastocrón. El período de observación fue del 2 de septiembre al 17 de octubre de 1987; estas fechas correspondieron a 10 y 55 días después de la emergencia, respectivamente. Con base en experiencias del autor la longitud de referencia fue 50 mm; el índice se estimó como lo reportó Pérez (1979).

### Control de Plagas.

Trece días después de la emergencia (DDE) se controló Trips aplicando sevín (2.5 cc/l); la araña roja se trató con Kelthane (2.7 cc/l) a los 25, 40 y 70 DDE; a los 40 días después de la polinización (DDP) se aplicó malatión 50 (2.0 cc/l) para el control de áfidos.

### Polinización.

Esta se efectuó manualmente; los cabellos del jilote se cortaron la noche antes de su

exposición o emergencia, y por la mañana, antes de la salida del sol, se les espolvoreó polen colectado en bolsas de papel que se utilizaron para colectarlo de las espigas de cada una de las plantas de maíz. El procedimiento anterior se repitió a diario durante seis días consecutivos; con esto se logró una completa polinización y llenado de grano.

#### Cosecha.

La cosecha se efectuó secuencialmente a los 20, 40 y 60 días después de la polinización (DDP), y las plantas cosechadas se separaron en las siguientes partes: tallo + espiga, cobertura de la mazorca + olote; hojas inferiores (abajo del elote y grano). El material se secó a 65°C en una estufa de aire forzado, excepto 2 g de la hoja del jilote, las cuales se sumergieron en N líquido, se almacenaron en nevera conteniendo hielo seco y liofilizaron, para posterior determinación de aminoácidos libres (no reportado en este artículo). El resto de las muestras se molió para su posterior análisis químico.

#### Análisis Estadístico.

El análisis de rendimiento (grano) se efectuó haciendo el análisis de varianza y posterior análisis de regresión múltiple de acuerdo al siguiente modelo:

$$Y = b_0 + b_1N + b_2P + b_3N^2 + b_4P^2 + b_5NP$$

Donde Y correspondió a la variable dependiente (grano), la cual se expresó en función de las variables independientes N y P; los b representan los coeficientes de regresión de las variables en estudio; dado que el significado de cada uno de los anteriores componentes del modelo es ampliamente conocido y expresado en detalle en numerosas publicaciones, no se entrará en mayor detalle.

#### Índice de Plastocrón.

El índice de plastocrón (IP) se calculó de acuerdo a la fórmula descrita por Erickson y Michelini (1957); la cual se indica a continuación:

$$IP = n + \frac{(\log E_n - \log E_{ref})}{(\log E_n - \log E_{n+1})}$$

Donde n representa el número de serie del entrenudo a medir o medido; log E<sub>n</sub> es el logaritmo de la lectura a longitud del entrenudo n; log E<sub>ref</sub> es el logaritmo de la longitud referencia; log E<sub>n+1</sub> es el logaritmo de la longitud del entrenudo n+1.

Para calcular el IP es únicamente necesario medir la distancia entre entrenudos consecutivos del tallo de la planta de maíz, que son respectivamente más largo y corto que la longitud del entrenudo de referencia (E<sub>ref</sub>); la cual es en este caso 5 cm (50 mm). En otros términos el plastocrón puede definirse como el periodo de iniciación de entrenudos sucesivos.

## RESULTADOS Y DISCUSION

### Producción de Grano.

La producción de maíz en grano a los 20, 40 y 60 días después de la polinización (DDP) se muestra en el Cuadro 2. El rendimiento se incrementó conforme el grano se aproximó a madurez para todos los tratamientos; sin embargo, dicho incremento dependió de los niveles de N y P aplicados, y una clara interacción estadística como la reportada por Heady *et al.* (1955) fue observada en el presente estudio.

La relación entre grano y producción de follage mostró también una fuerte interacción de N y P la cual fue consistente (Figura 1) en cada uno de los tres periodos después de la polinización (20, 40 y 60 días). La relación entre niveles de N y P determinó los porcentajes óptimos de acumulación de materia seca tal como puede observarse en la Figura 1-2.

Los niveles mínimos de N y P requeridos para producir grandes diferencias con respecto a los tratamientos 600N-100P, 200N-300P y el testigo (200N-100P) fueron de 400 ppm N + 200

Cuadro 2. Relación entre rendimiento de maíz (g/planta) y días después de la polinización.

	Tratamiento		Días después polinización			Total
	N	P	20	40	60	
	--- ppm ---					
1)	200	100	5.03	24.43	34.47	63.93
2)	600	100	19.23	31.30	58.17	108.70
3)	200	300	9.13	29.70	33.53	72.37
4)	600	300	24.80	98.90	109.67	233.37
5)	400	200	21.67	62.60	93.80	178.07
6)	800	200	29.83	86.17	107.40	223.37
7)	400	400	26.60	71.30	83.40	181.07
8)	800	400	28.77	97.30	115.50	241.57
9)	800 <sup>1)</sup>	400	24.07	86.20	76.77	187.03
10)	500	250	16.33	94.00	124.00	234.33

1) Aplicación fraccionada de N: 400 ppm en la siembra y 400 ppm 20 días después.

ppm P. Estas diferencias fueron cuantitativamente estimadas y cada uno de los parámetros resultó altamente significativo (0.01 de probabilidad); la regresión también resultó altamente significativa, mientras la falta de ajuste del modelo no lo fue, lo cual nos indica que el modelo puede utilizarse para predecir el comportamiento o función de respuesta a las variables en estudio. El coeficiente de correlación fue de 93.5% (Cuadro 3).

El rendimiento de grano global puede expresarse mediante el modelo en cuestión, el cual es de la forma  $Y = -139.7559 + 0.582251 N + 1.043595 P - 0.000590 N^2 - 0.002511 P^2 + 0.000903 NP$ .

Del Cuadro 2 se nota que para la primera y segunda cosecha (20 y 40 días después de la polinización) existen altos requerimientos de N; esto se corroboró por los análisis estadísticos que mostraron sólo efectos lineales del N; los requerimientos de P también resultaron altos.

Esto último indica que el consumo y demanda de N y P continúa en paralelo con el tiempo. Finalmente, cada uno de los parámetros resultó altamente significativo al tercer período de cosecha (60 días después de la polinización), lo cual indica que el N y el P son limitativos para la producción de grano durante dicha etapa. La máxima producción de grano (126 g/planta) se obtuvo a niveles de N y P de 707 y 322 ppm, respectivamente. Este último valor nos muestra una relación N:P de 2:1, la cual tiene una relación de grano a materia seca total de 50% que se indica en la Figura 1, para niveles no limitativos de N y P.

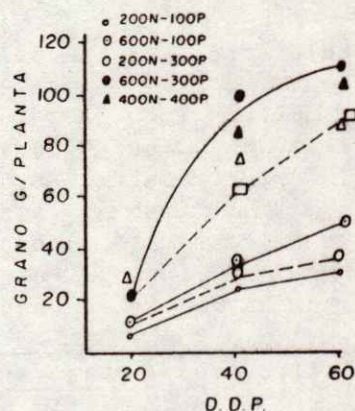


Figura 1-1. Relación entre rendimiento de grano y días después de la polinización (DDP).

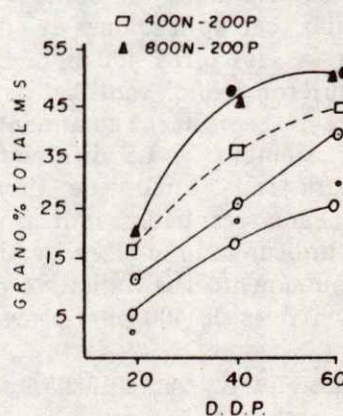


Figura 1-2. Relación entre rendimiento de grano como porcentaje del total de materia seca y tiempo después de la polinización (DDP).

Cuadro 3. Valores de "F" calculada para tratamientos, regresión, N y P lineal, N y P cuadráticas, NP y falta de ajuste.

Fuente	GL	Días después de polinización			Total
		20	40	60	
Tratamientos	8	6.66 **	10.11 **	15.62 **	19.80 **
Regresión	5	9.18 **	14.90 **	23.06 **	29.64 **
N lineal	1	37.60 **	39.65 **	67.70 **	21.44 **
P lineal	1	5.77 **	16.23 **	9.80 **	21.44 **
N cuadrático	1	2.06 NS	4.27 NS	14.94 **	13.28 **
P cuadrático	1	1.00 NS	7.28 NS	10.77 **	11.06 **
NP	1	1.00 NS	7.42 *	12.04 **	10.98 **
Falta ajuste	3	2.40 NS	2.01 NS	3.20 NS	3.44 *
Cuadrado medio error	18	33.72	279.6	229.0	773.2
R <sup>2</sup>		86.2 %	92.5 %	92.3 %	93.5 %
Coeficientes	b0	- 10.9511	- 60.6876	- 68.2465	- 139.7559
	b1	0.072404	0.191484	0.319231	0.582251
	b2	0.025622	0.509368	0.508862	1.0433595
	b3	- 0.000028	- 0.000220	- 0.000343	- 0.000590
	b4	0.000058	0.001214	0.001356	0.002511
	b5	- 0.000058	0.000447	0.000515	0.000903

\*\* Significativo 0.01; \*Significativo 0.05; NS: no significativo.

En contraste con los resultados obtenidos por Breteler (1977), de aplicar el N en dos incrementos, los resultados obtenidos en el presente estudio, con aplicaciones de 400 ppm en la siembra y los otros 400 ppm 20 días después, produjeron menor cantidad de grano que cuando el N se aplicaba totalmente (800 ppm) en la siembra. La diferencia fue consistente para cada estado de desarrollo (Cuadro 2). Estos resultados indicaron que resultó mejor aplicar todo el N en la siembra por que este nutrimento fue limitativo para la producción a niveles de 400 ppm o menor.

#### Indices de Crecimiento y Ontogenia de Desarrollo.

Las gráficas de la altura de las plantas VS tiempo después de la emergencia resultaron de

forma similar (sigmoide) para cada uno de los tratamientos de fertilización aplicados al suelo (Figura 2). Sin embargo, se observaron diferencias en cuanto a la altura alcanzada, la cual dependió de la cantidad y proporción de N y P aplicados al suelo calcáreo. Las plantas desarrolladas con niveles de N altos con respecto a la aplicación relativa de P (800 N - 200 P, 600 N - 100 P), en general resultaron de menor altura que aquellas desarrollándose con niveles bajos de N combinados con altos de P (200 N - 300 P, 400 N - 400 P). Por otra parte, cuando la tasa de N tuvo un intervalo de 400 a 800 ppm y era el doble (2:1) de la de P (400 N - 200 P, 600 N - 300 P, 500 N - 250 P, y 800 N - 400 P) la altura promedio podía ser representada por una curva general. En consecuencia, para las condiciones bajo las cuales el maíz fue desarrollado en este



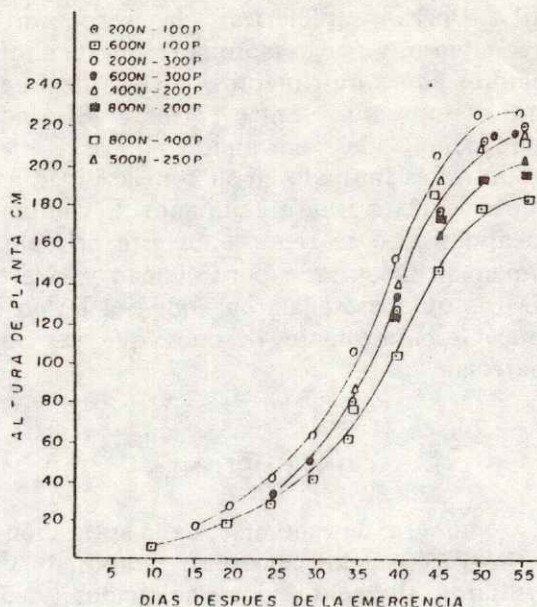


Figura 2. Relación entre crecimiento (altura) de las plantas de maíz y la aplicación de niveles de N y P al suelo.

experimento, la adición de N y P en una proporción de 2:1 era la más adecuada, es decir dos unidades de N por una unidad de P.

#### Tasas de Crecimiento.

Las tasas de crecimiento en cm/día mostraron una tendencia similar a la enunciada para altura. Niveles altos de N con respecto a P (600 N - 100 P) determinaron tasas menores durante los primeros 40 días después de la emergencia, la máxima fue de 8 cm/día, la cual resultó inferior a la encontrada para relaciones de N:P de 2:1 y 3:1, en las que se obtuvieron valores de 12 y 10 cm/día, respectivamente a los 40 días después de la emergencia. Quince días después de esta fecha las tasas de crecimiento descendieron abruptamente hasta un nivel de cero. La tasa máxima de crecimiento coincidió con la aparición del jilote.

El índice de crecimiento "plastocrón" (IP) fue afectado substancialmente por las adiciones de N y P como se muestra en la Figura 3. Para todos los tratamientos las curvas pueden separarse en tres diferentes regiones; dos que son generalmente funciones lineales con

diferente pendiente cada una y que corresponden a la aparición de la espiga y el jilote, respectivamente, seguido por un aplanamiento de las curvas (tercera región). La respuesta del plastocrón a las aplicaciones de N y P al suelo es similar a la de altura de plantas para cada una de las regiones de las curvas identificadas. La naturaleza sigmoide de las curvas permitió corroborar que el crecimiento es exponencial en la porción inferior de dicha curva sigmoide. En estas circunstancias la elongación de las plantas (hojas y entrenudos) puede expresarse como una función de  $A = A_0 e^{kt}$ , donde A = altura final,  $A_0$  es la altura inicial, t es igual a tiempo después de la emergencia y k es la constante; esta última integra el efecto de los niveles de N y P, ya que la temperatura y humedad fueron constantes para toda la población. De esta manera las curvas de respuesta de crecimiento pueden expresarse como una familia de curvas, que reúnen las tres características siguientes: 1) lineales, 2) igualmente espaciadas y 3) paralelas. Esto señala que es posible estimar cuantitativamente el efecto de los niveles de N y P sobre el crecimiento como lo muestra la Figura 3.

Resulta de interés observar que los niveles bajos de N (200 N - 100 P y 200 N - 300 P) tuvieron los valores más altos del índice de crecimiento "IP" (Figura 3). También es de particular interés notar el número final de

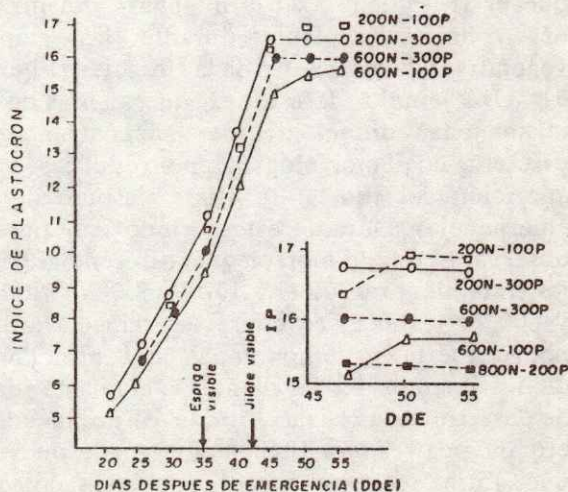


Figura 3. Índice de plastocrón y tiempo para diferentes aplicaciones de N y P.

hojas; al incrementar las aplicaciones de N de 200 a 500-600 ppm el IP fue de 17 a 16.0, y al aumentarse la dosis de N de 600 a 800 ppm los valores del IP disminuyeron aún más (de 16.0 a 15.0). Con aplicaciones de P y con niveles adecuados de N, las plantas produjeron 16 hojas, pero cuando el N era deficiente o excesivo, pocas o más hojas eran producidas. Estos efectos de N y P en las características morfológicas del maíz pueden o no ocurrir a un nivel significativo bajo condiciones de campo con poblaciones más grandes por tratamiento; sin embargo, sería de interés de observar esta tendencia en condiciones de trabajo de campo.

#### Usos del Índice de Crecimiento.

Lo encontrado en el presente estudio es pertinente para el uso de niveles críticos con el propósito de definir el estado nutricional de las plantas. Estos valores deben estar basados en el conocimiento de relaciones funcionales entre el rendimiento y la concentración de nutrimentos. Dado que las concentraciones de nutrimentos de las plantas cambian con la edad fisiológica, las muestras para análisis deben ser cuidadosamente escogidas. Con frecuencia las comparaciones de la composición de las plantas creciendo con aplicaciones de niveles nutricionales son enmascaradas por los efectos de tratamientos en el desarrollo de las plantas.

Los resultados del presente estudio indican que el IP puede ser útil para definir el desarrollo de las plantas durante las etapas vegetativas de maíz antes de la floración (Figura 3). Un ejemplo de esto es que plantas de la misma edad cronológica se encuentran en diferente edad morfológica, como es el caso a la aparición del jilote (40 días después de la emergencia). Durante este período se puede observar el estado morfológico diferencial para los tratamientos 200 N - 100 P, 600 N - 300 P y 600 N - 100 P; en consecuencia, el índice podría permitir comparar las concentraciones de nutrimentos en las plantas a la misma edad de desarrollo, las cuales son de diferente edad cronológica (Figura 3). Sin embargo, después de que 15 a 16 hojas son producidas (jiloteo), la producción de hojas se detiene; el IP se convierte en constante con tiempo y cesa de ser

útil para caracterizar la respuesta al crecimiento, y por lo tanto la respuesta a otros factores como nutrimentos, niveles de humedad, temperatura, entre otros. El índice (elongación de entrenudos) para este propósito es limitado en su confiabilidad a las etapas vegetativas de crecimiento. El cambio en linealidad que se reporta en este artículo es similar al encontrado por Coleman y Greyson (1976) quienes señalaron que el IP no era aplicable para tomate después que las flores aparecían.

#### CONCLUSIONES

1. Como era de esperarse, de la aplicación de N y P a suelos calcáreos, ambos, N y P, resultaron altamente correlacionados (93.5%) con el rendimiento de grano.
2. Es factible tener un índice numérico y relacionarlo con el tiempo durante la etapa vegetativa del maíz, este índice es el plastocrón.
3. El desarrollo ontogénico de las plantas de maíz fue afectado por las cantidades de N y P aplicado al suelo, pero no la naturaleza del índice; ya que éste integró la diferencia en crecimiento relacionada con la aplicación de N y P.
4. Se identificaron tres líneas o funciones al relacionar el índice con el tiempo: dos funciones lineales con diferente pendiente entre ellas, que correspondieron a la aparición de la espiga y el jilote, respectivamente; para el período durante el cual la planta ya no produjo más hojas, las líneas mostraron también semejanza entre ellas pero con menor pendiente o pendiente nula al compararla con las etapas iniciales de crecimiento.
5. Para cualquier período de tiempo después de la emergencia, se obtuvieron valores menores del IP para plantas desarrollándose con aplicaciones altas de N combinadas con niveles bajos de P. Un efecto opuesto fue observado cuando la relación N:P fue lo opuesto de la anterior. Para relaciones de N:P de 2:1 el efecto sobre la expresión del plastocrón resultó intermedio.

LITERATURA CITADA

**BRETELER, H.** 1977. Nitrogen fertilization, yield and protein quality of normal and high lysine maize variety. *J. Sci. Fd. Agric.* 27: 978-982.

**COLEMAN, W.K., y R.I. GREYSON.** 1976. The growth and development of leaf in tomato (*Lycopersicon esculentum*). I. The plastochron index, a suitable basis for description. *Can. J. Bot.* 54: 2428-2441.

**ERICKSON, R.O.** 1947. Respiration of developing anthers. *Nature* 159: 275.

**ERICKSON, R.O.** 1948. Cytological and growth correlations in the flower bud and anther of *Lilium longiflorum*. *Amer. Jour. Bot.* 35: 729-739.

**ERICKSON, R., y F.J. MICHELINI.** 1957. The plastochron index. *Amer. J. Bot.* 44: 297-304.

**ERICKSON R.O.** 1976. Modeling of plant growth. *Annual Review of Plant Physiology* 27: 407-434.

**HANWAY, J.J.** 1963. Growth stages of corn (*Zea mays* L.). *Agron J.* 55: 487-492.

**HEADY, E.O., J.T. PESEK, y W.G. BROWN.** 1955. Crop response surface and economic optima in fertilizer use. *Iowa Agric. Exp. Stn. Bull.* 424: 292-332.

**LOOMIS, R.S., W.A. WILLIAMS y E. HALL.** 1971. Agricultural productivity. *Annual Review of Plant Physiology* 22: 431-468.

**OGUR, M., R.O. ERICKSON, G.U. ROSEN, K.B. SAX, y C. HOLDEN.** 1951. Nucleic acids in relation to cell growth. *Amer. Jour. Bot.* 38: 730-738.

**PEREZ Z.O.** 1979. Effects of nitrogen and phosphorus additions on the growth and composition of corn (*Zea mays* L.) plants grown on a calcareous soil. PhD. Tesis. Universidad de California, Davis.

## ESTADO NUTRICIONAL DE LOS CITRICOS DE LA SABANA DE HUIMANGUILLO, TABASCO

Nutritional Status of Citrus Orchards in the Huimanguillo Savannah, Tabasco.

Rey Toledo Martínez y Jorge D. Etchevers B.

CEICADES (Tabasco) y Centro de Edafología (Montecillo), Colegio de Postgraduados, 56230 Chapingo, México.

### RESUMEN

La superficie plantada con cítricos en la Sabana de Huimanguillo, Tabasco, está creciendo rápidamente y con ella los problemas nutricionales de estas especies. El objetivo del presente trabajo fue realizar una evaluación del estado nutrimental de las plantaciones de naranja y limonero en un área recientemente abierta a la explotación con cítricos. La zona fue dividida en 13 secciones con base en criterios edafológicos y topográficos. Se seleccionaron 73 sitios y en ellos se realizó primero un diagnóstico visual y luego un muestreo foliar. Se colectaron hojas de 5 a 6 meses de edad (4a. hoja desde el ápice) en noviembre de 1987, en ramas sin fructificar correspondientes al flujo de crecimiento de primavera. Estas fueron analizadas para N, P, K, Ca, Mg, Zn, Mn, Fe, y Cu. Los resultados de los análisis químicos confirmaron las observaciones visuales y además la ocurrencia de niveles marginales de ciertos nutrimentos. El 50 y 34% de los sitios resultó deficiente en N y P, y el 30 y 15%, respectivamente, se ubicaron en la categoría marginal. En algunas áreas localizadas se presentó deficiencia de Zn y en menor proporción de Mg y Mn. Estos

resultados son congruentes con los pH y tipo de suelo existente en la región. Los datos anteriores señalan la urgencia de adoptar medidas correctivas de los problemas nutricionales de los cítricos de región que permitan a las plantas manifestar su potencial productivo.

Palabras Clave: Limonero, Naranja, Deficiencias nutrimentales

### SUMMARY

The number of citrus orchards in the Huimanguillo Savannah, Tabasco, Mexico, and problems related to plant nutrition are growing rapidly. The objective of the present work was to evaluate orange and lemon plantations in an area recently planted with these species. The area was divided into 13 sections based on soil and topographic features. Seventy-three sites were selected within the entire area for visual diagnosis and leaf sampling. Five to 6 month-old leaves from the previous spring growth flush were collected during November 1987 and analysed for N, P, K, Ca, Mg, Zn, Mn, Fe, and Cu. Plant chemical results confirmed the occurrence of nutrient deficiency visually described and also the presence of marginal levels. Nitrogen and P were found deficient in

50% and 34% of the sites, and marginal in 30% and 15% of them, respectively. In some areas Zn and in smaller proportion Mg and Mn deficiencies were observed. The data collected indicate there is an urgent need to adopt corrective measures for these nutritional problems so that citrus trees attain their productive potential.

Index words: Lemon, Orange, Nutrient deficiencies.

### INTRODUCCION

México es el sexto productor mundial de cítricos y aporta el 15% de la producción total de estas frutas. Se estima que en la Sabana de Huimanguillo actualmente existen aproximadamente 10,000 ha de estas especies, con una tasa de crecimiento de cerca de 1500 ha por año. Estas cifras confirman la importancia económica que estos cultivos están adquiriendo en la zona. Los cítricos han entrado a substituir áreas que en el pasado estaban ocupadas por praderas nativas de baja productividad y calidad forrajera.

Los rendimientos promedios de limón en el estado de Tabasco entre los años 1980 y 1985 fueron de 15 ton ha<sup>-1</sup> y los de naranja de 8 ton ha<sup>-1</sup>. Landon (1984) señala que rendimientos de 30 a 45 ton ha<sup>-1</sup>, para el primero, y de 25 a 40 ton ha<sup>-1</sup>, para el segundo, se pueden obtener manejando adecuadamente una plantación. Esto significa que en Tabasco existe un potencial relativamente grande para lograr aumentos de la producción una vez que se remuevan los factores que impiden la expresión total de la capacidad de rendimiento.

Uno de los factores que probablemente deprime los rendimientos de esas especies en la región es la baja fertilidad de los suelos. En la zona de Huimanguillo predominan los Acrisoles y Cambisoles, ambos de baja fertilidad (Palma *et al.*, 1985). Además las dosis de fertilizantes que emplean los citricultores locales, comparadas con aquellas empleadas en otras partes del

mundo, pueden considerarse como insuficientes (Cohen, 1986). Ordoñez y Campo (1981) encontraron deficiencias de N, P, K, Ca, y Mg en esos suelos, que limitaban el establecimiento del pasto estrella de África. Sin embargo, la aplicación de N, P y K (180, 120, y 90 kg/ha de N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> y K<sub>2</sub>O), no provocó incremento en los rendimientos en árboles de limón persa en esta zona (Zamora, 1986). Sin embargo, los resultados reportados por este autor corresponden solamente al primer ciclo de producción después de aplicado el fertilizante, lo cual pudiese ser responsable de la falta de respuesta observada. Además, de acuerdo a sus señalamientos, los tratamientos se impusieron en árboles que habían sido abonados con gallinaza, asperjados con un fertilizante foliar que contiene nitrógeno y además fertilizados con urea en el ciclo anterior al establecimiento del experimento. Todo lo cual indica que esta información tiene que ser interpretada con sumo cuidado, ya que no constituye una base sólida para afirmar ausencia de respuesta a la aplicación de estos fertilizantes en los suelos de la zona.

Una forma de evaluar el estado nutrimental de un cultivo determinado en una zona dada es mediante el empleo de la técnica del levantamiento nutrimental. Este consiste en obtener muestras de tejido vegetal, principalmente hojas, y analizarlas para determinar la concentración de los nutrimentos de interés, los cuales son comparados con estándares previamente establecidos. Estos pueden ser niveles críticos, intervalos de concentración u otras índices. Los dos primeros se definen para órganos determinados, de edad fisiológica también determinada, que se obtiene en condiciones previamente establecidas (Etchevers, 1988). Intervalos de concentración nutrimental para los cítricos han sido publicados por Chapman (1961), Cohen (1986), Reuter y Robinson (1986) entre otros autores.

El objetivo del presente trabajo fue determinar el estado nutrimental actual de las plantaciones de cítricos de la Sabana de Huimanguillo, Tabasco, mediante el análisis químico de tejido foliar y el diagnóstico visual.

## MATERIALES Y METODOS

### La Zona de Estudio

Se encuentra localizado en el suroeste del municipio de Huimanguillo, Tabasco, entre los 17°37' y 17°50' de latitud norte y los 93°28' y 93°43' de longitud oeste (Figura 1). Las características generales de esta región, según Palma *et al.* (1985), son: altura de 35 a 50 msnm, clima cálido húmedo, con precipitación promedio de 2360 mm anuales y temperatura media anual de 25.5°C. Los suelos dominantes en la zona citrícola son Cambisol distrito y Acrisol plintico (INEGI, 1985; Palma *et al.*, 1985).

### Diagnóstico Visual

Se hizo un recorrido preliminar de la zona con el objetivo de identificar aquellas plantaciones que mostraron sintomatología visual indicadora de una posible deficiencia nutrimental. En estos sitios se procedió a describir los síntomas particulares que mostraban los árboles, su posición dentro de la estructura de éste, la frecuencia del síntoma y su simetría. También se consideró la variación asociada con los cambios en topografía. Los síntomas descritos se compararon con una clave para deficiencia en cítricos propuesta por Del Rivero (1968). En algunos sitios en que los árboles exhibían una fuerte sintomatología visual se tomaron muestras de hojas afectadas y normales, las cuales fueron analizadas para N, P, K, Ca, Mg, Zn, Mn, Cu, y Fe por los procedimientos que se detallan en la próxima sección.

### Levantamiento Nutricional

En los meses de octubre y noviembre de 1987 se hizo un recorrido preliminar en toda la zona de estudio con el propósito de ubicar las áreas productoras de cítricos. Con base en las características edáficas, topográficas y las especies de cítricos establecidas se procedió a dividir la zona en 13 áreas relativamente homogéneas (Figura 1). Dentro de las 13 áreas se escogieron 73 sitios de muestreo, que representaron las condiciones de manejo de

las plantaciones, variedad, edad de la plantación, profundidad del suelo a la capa arcillosa y sintomatología visual aparente.

En todos los sitios seleccionados se obtuvieron muestras de hojas de 5 a 7 meses de edad en noviembre de 1987 (Reuter y Robinson, 1986). Las hojas colectadas fueron la cuarta a partir del ápice en ramas sin fructificación, correspondiente al flujo de primavera. En cada sitio se tomaron de 90 a 100 hojas, cuidando que estuviesen representadas las cuatro exposiciones cardinales del follaje, a una altura aproximadamente de 1.5 m del suelo. El muestreo se hizo colectando hojas totalmente expuestas a la luz solar y aparentemente sanas, cruzando la plantación sobre dos transectos imaginarios en x.

Para evitar pérdidas de materia seca por respiración, las muestras se colocaron en

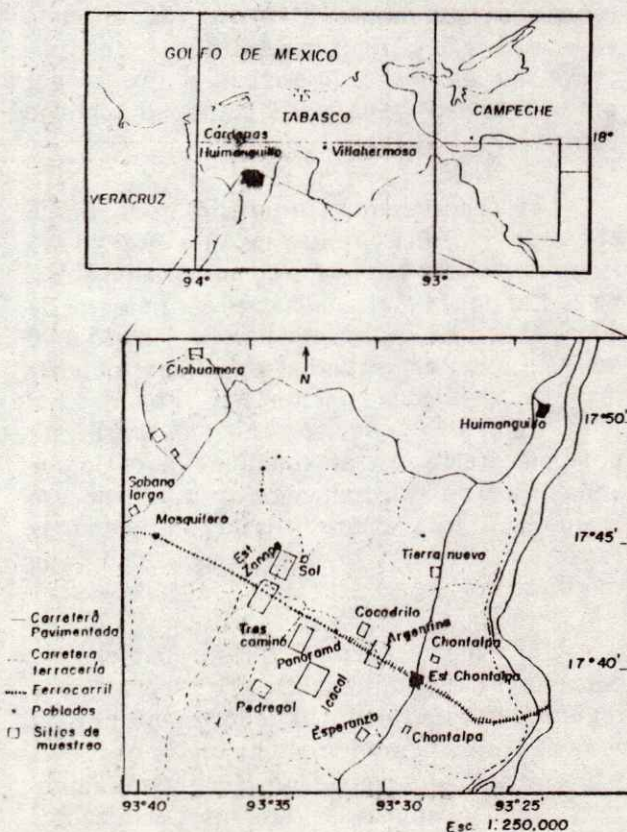


Figura 1. Localización de los sitios de muestreos.

hieleras portátiles mantenidas a 3°C. En el laboratorio las muestras se lavaron con HCl 0.1N y posteriormente dos veces con agua destilada y una vez con agua desionizada. El exceso de agua se absorbió con papel absorbente. Las hojas lavadas se colocaron a secar en estufa a 65°C por 48 horas y se molieron en un molino provisto con una malla número 40. El material molido se almacenó en frascos de plástico sellados hasta el momento de su análisis.

Las determinaciones practicadas en estas muestras fueron: N, P, K, Ca, Mg, Zn, Fe, Cu, y Mn. El N se determinó por un procedimiento macroKjeldahl. El resto de los nutrientes se evaluó en un digerido hecho con una mezcla de ácido nítrico más ácido perclórico concentrados. El fósforo se midió mediante el empleo del complejo amarillo de vanadomolibdato, el K por fotometría de absorción atómica. Los procedimientos utilizados fueron los que rutinariamente se aplican en el Laboratorio de Fertilidad del Colegio de Postgraduados. La interpretación de los resultados se hizo de acuerdo a los intervalos de

concentración (Cuadro 1) propuestos por Cohen (1986) y Reuter y Robinson (1986). Para acopiar información sobre prácticas de manejo se practicó una encuesta en las áreas seleccionadas.

## RESULTADOS Y DISCUSION

### Diagnóstico Visual

Con el objetivo de tener una idea primaria de las principales carencias nutrimentales de las plantaciones cítricas de la zona de la Sabana de Huimanguillo, que en general muestran anomalías en la coloración de las hojas, se realizó una inspección ocular en áreas seleccionadas y se describió la sintomatología visual observada. Además, en algunos sitios se tomaron muestras de hojas para un análisis foliar preliminar y muestras de suelos. Los síntomas observados se describen a continuación. En el Cuadro 2 se presentan los resultados de los análisis químicos de hojas en nueve localidades.

Cuadro 1. Clases de condición nutrimental para los elementos esenciales en cítricos (Reuter y Robinson, 1986)<sup>1)</sup>.

Elemento	Clase				
	Deficiente	Marginal	Adecuada	Alta	Excesiva
N, %	< 2.2	2.2-2.4	2.4-2.6	2.7-3.0	> 3.0
P, %	< 0.09	0.09-0.11	0.12-0.16	0.17-0.25	> 0.25
K, %	< 0.4	0.4-0.7	0.7-1.2	1.3-2.3	> 2.3
S, %	< 0.14	0.14-0.20	0.21-0.40	0.41-0.50	> 0.50
Ca, %	< 1.6	1.6-2.9	3.0-6.0		> 7.0
Mg, %	< 0.16	0.16-0.25	0.26-0.60	0.7-1.2	> 1.2
Fe, ppm	< 36	36-60	60-120	120-200	> 200
B, ppm	< 21	21-30	31-100	101-260	> 200
Mn, ppm	< 16	16-24	25-100	101-300	> 300
Zn, ppm	< 16	16-24	25-100	100-300	> 300
Cu, ppm	< 3.6	3.6-5.0	5.1-10	10-15	> 15
Mo, ppm	< 0.06	0.06-0.09	0.10-3	3-100	> 100

1) Los autores señalan que puede haber ligeras variaciones entre las distintas especies.

**Nitrógeno.** Síntomas de deficiencia de N fueron identificados principalmente en las áreas de Sabana Larga, Esperanza, Chontalpa Limón y El Pedregal y preferentemente en limón. Se observaron árboles totalmente cloróticos (particularmente en Esperanza) y árboles en que sólo el follaje de la parte basal estaba amarillento. En las ramas afectadas los síntomas de amarillamiento eran más intensos en las hojas viejas y en algunos casos alcanzaban hojas intermedias. Las hojas nuevas de estos últimos árboles presentaban un color verde claro, que se distinguía del verde intenso normal en hojas sin deficiencia.

Los nervios de las hojas afectadas eran de un color amarillo claro y la zona intervenal de un amarillo firme. En algunos casos se observó defoliación prematura y reducción de crecimiento de las plantas. Los frutos en los árboles afectados con esta deficiencia presentaban un aspecto brillante, cáscara más delgada y daban la impresión de ser más jugosos.

Los síntomas visuales de mal nutrición nitrogenada se presentaron preferentemente en áreas que con anterioridad al establecimiento de los huertos eran pastizales

Cuadro 2. Análisis químico de tejido foliar de cítricos afectados por síntomas foliares de mal nutrición en la Sabana de Huimanguillo.

Area	Aspecto	N	P	K	Ca	Mg	Fe	Cu	Zn	Mn
Tres Caminos lomerío	Normal	2.7	0.10	1.9	5.5	0.63	175	- <sup>1)</sup>	10	12
	Síntomas	2.3	0.12	1.9	0.9	0.63	125	-	5	T <sup>2)</sup>
Tres Caminos plano	Normal	2.4	0.10	1.5	5.9	0.63	112	-	10	25
	Síntomas	2.3	0.10	1.7	6.4	0.09	262	-	5	12
Clahuamara	Normal	2.2	0.08	1.4	3.0	0.94	62	-	15	12
	Síntomas	2.2	0.08	1.6	2.2	0.63	62	-	15	T
Icacal 1	Normal	2.6	0.08	1.8	3.2	0.78	87	-	5	-
	Síntomas	2.3	0.08	1.8	2.5	0.31	137	-	5	12
Icacal 2	Síntomas	-	-	-	-	-	160	9	20	20
Icacal 3	Síntomas	-	-	-	-	-	186	8	14	16
Argentina 1	Normal	-	-	-	-	-	166	8	20	16
	Síntomas	-	-	-	-	-	218	4	12	12
Argentina 2	Normal	-	-	-	-	-	274	9	20	16
	Síntomas	-	-	-	-	-	362	13	12	12
Argentina 3	Síntomas	-	-	-	-	-	112	9	16	16

1) No analizado

2) Trazas



(sabana) y en menor grado en aquellos en que los arbustos y árboles de porte medio fueron eliminados para establecer la plantación (acahuales). En lo que respecta a la fisiografía y la textura del suelo los síntomas más severos se presentaron cuando éstas eran lomeríos suaves y texturas franco arenosa.

La deficiencia de N fue confirmada independientemente mediante análisis químico de tejido. En efecto, los porcentajes promedios de nitrógeno foliar en muestras colectadas en noviembre (Cuadro 3) fueron: 1.56, 1.75, 1.54, 2.12 y 2.15% para Esperanza, Sabana Larga, Chontalpa Limón, Chontalpa Providencia y Pedregal, respectivamente. Estos valores son inferiores al nivel crítico (2.3%) sugerido por Reuter y Robinson (1986). Los valores de N señalados en el Cuadro 2, correspondientes a las hojas con deficiencia, en general, estos son iguales o ligeramente inferiores al nivel crítico. En contraste, las hojas normales tienen valores superiores al nivel crítico.

Fósforo. En condiciones de campo el sintoma de deficiencia de P raramente se visualiza en las hojas (Cohen, 1986), pero se manifiesta en las primeras fases de desarrollo del fruto. En la zona de El Sol se pudo ver fruta de naranjo con aspecto rugoso, tamaño más grande y cáscara más gruesa que lo normal, con los gajos del centro del fruto separados formando una concavidad y de aspecto bofo. Del Rivero (1968) reporta estos síntomas como correspondientes a deficiencia de P. Los resultados promedio del análisis foliar de P en esta zona, sin embargo, fueron superiores (0.12% P) al valor reportado como crítico (Reuter y Robinson, 1986). Pero en el muestreo preliminar se observó que los sitios Clahuamara e Icacal presentaban niveles de P en las hojas normales y con deficiencia de 0.08% P. Estos sitios no han entrado en producción. Las otras áreas con niveles inferiores al nivel crítico de P fueron Sabana Larga (0.09%) y Esperanza (0.08%).

No se encontró relación entre los síntomas descritos como deficiencia de P y el tipo de suelo. En el sitio Tres Caminos el nivel de P extractable Bray-1 fue de 5 ppm P y el

porcentaje de este elemento en las hojas de 0.10% P. Aparentemente 5 ppm Bray-1 en el suelo son suficientes para abastecer los requerimientos mínimos de la planta. Se sabe que los requerimientos de P de los cítricos son mínimos (Cohen, 1986) por lo que ese bajo nivel de P en el suelo no sería impedimento para que las plantas satisficieran sus necesidades. Ello podría explicarse por la elevada exploración del suelo por las raíces.

Potasio. En la zona citrícola de la Sabana de Huimanguillo no se observaron síntomas visuales de deficiencia de K. El análisis de K intercambiable en Sabana Larga (lomerío) mostró valores muy inferiores (0.04 meq/100g) a los aceptados como normales, pero la concentración de este elemento en las hojas fue de 1.8%, considerada como alta (Reuter y Robinson, 1986). En otros análisis de tejido vegetal, no reportados en este trabajo, los autores observaron porcentajes de K inferiores a 0.7% en Tierra Nueva y Chontalpa Limón y sólo ligeramente superiores en Chontalpa Providencia y Pedregal. Estos niveles, no provocarían una disminución de los rendimientos, pero sí de la calidad (Reuter y Robinson, 1986).

Magnesio. Los árboles afectados por los síntomas de deficiencia de Mg se observaron en las áreas de Tres Caminos, Cocodrilo, Sabana Larga y parte de Argentina, preferentemente en partes planas y lomeríos suaves. En algunos casos la deficiencia se presentó en la zona con menores cotas como es el caso de Tres Caminos.

Los síntomas de deficiencia se manifestaron en las hojas maduras ubicadas en posiciones bajas dentro de la planta. En las ramas las hojas deficientes se ubican en la parte baja. Las hojas exhiben un color bronceado, con desaparición de la clorofila en una zona paralela al nervio central y posteriormente una extensión de la zona afectada hacia la punta de la hoja. Cuando la deficiencia avanza, la hoja presenta un color amarillo suave y sólo su base permanece verde, dando la apariencia de formar una cuña con forma de V invertida. Estos síntomas coinciden con la clave de deficiencia para cítricos propuesta por Del Rivero (1968).

Reuter y Robinson (1986) indican los valores menores a 0.25% de Mg en el tejido son marginales. En el muestreo preliminar (Cuadro 2) se señalan niveles deficientes de este elemento en una muestra del área Tres Caminos Plano con síntomas visuales. Otras áreas presentan niveles de Mg en el tejido por arriba del nivel crítico, sin embargo, los síntomas descritos también fueron observados en ellas. Datos no reportados, de un estudio conducido por los autores, muestran niveles marginales en algunos sitios de Tierra Nueva, Chontalpa Limón y en Chontalpa Providencia.

Zinc. Los síntomas de deficiencia de Zn fueron observados en áreas con topografía de lomerío y disminuían gradualmente a medida que se avanzaba hacia las partes bajas. La mayor intensidad ocurrió en suelos fuertemente erosionados y de pH ácido, condiciones que favorecen la deficiencia (Tisdale *et al.*, 1985).

Las áreas que presentaron deficiencia de Zn fueron Tres Caminos, Icacal, parte de Argentina y Sabana Larga. La deficiencia de Zn en la zona va en aumento, alcanza predominancia dentro de todas las deficiencias de elementos secundarios y micronutrientes. Se observa preferentemente en naranja valencia.

Los síntomas observados en el campo se localizan en la parte superior en brotes nuevos. El síntoma avanza hacia las hojas intermedias de las ramas afectadas. Las hojas con afección avanzada presentan un color amarillo intenso entre la nervadura secundaria, pero se manifiesta como pequeños puntos entre los nervios secundarios cuando ésta comienza a aparecer. Se observó que las hojas afectadas se reducían de tamaño, eran más estrechas y puntiagudas. Las plantas afectadas por deficiencia de Zn presentan en sus brotes nuevos una forma de rosetas de color amarillo intenso y defoliación prematura, hasta el extremo que algunas ramas llegaban a secarse. En todos los casos la deficiencia provoca una reducción del crecimiento del árbol. Los árboles deficientes en Zn que alcanzaron a fructificar, produjeron frutos pequeños (50% más pequeño que lo normal) y de sabor más ácido. Una naranja presentó el tamaño de un

limón. La comparación de los síntomas descritos con los de la clave para identificar deficiencia en cítricos propuesta por Del Rivero (1986) hace sospechar la existencia de esta deficiencia en la zona.

Los resultados del análisis químico de hojas (Cuadro 2) en Tres Caminos, Clahuamara, Icacal y Argentina señalan niveles bajos de Zn, menores de 25 ppm, en prácticamente todos los sitios, llegando incluso a 5 ppm, como en Tres Caminos. Estos niveles son francamente deficientes según Reuter y Robinson (1986). Cohen (1986) menciona que la deficiencia más común de las zonas críticas del mundo es Zn. Esta observación es válida para la zona de Huimanguillo.

Manganeso. La situación del Mn es prácticamente igual a la del Zn. La deficiencia se observa en las áreas de Tres Caminos, Clahuamara, Icacal, Argentina y partes de El Pedregal. Esta deficiencia no se presentó en una condición específica de suelo, sin embargo, se encontró preferentemente en áreas de mal drenaje.

Los síntomas que presentan las plantas deficientes de Mn fueron los siguientes: las anomalías de coloración se ubican en la parte superior de la planta, en hojas jóvenes distribuidas regularmente en todo el brote. Coloraciones amarillas tenues, irregulares, entre los nervios secundarios formando una franja verde a lo largo de los nervios secundarios. No se observó reducción del tamaño de la hoja. En casos de deficiencia avanzada se apreciaron manchas amarillas en forma de herraduras abiertas hacia el nervio medio, con un ligero jaspeado sobre una red de nervios verdes retorcidos. Estos síntomas coinciden con los señalados como deficiencia de Mn en la clave de deficiencia de cítricos propuesta por Del Rivero (1968)

El muestreo preliminar practicado (Cuadro 2) en Tres Caminos lomerío, parte plana de Clahuamara, Icacal y Argentina indicó en la mayoría de los casos niveles deficientes de Mn. Sus valores son, en general, menores a 24 ppm de Mn, límite superior de la clase

marginal (Reuter y Robinson, 1986). Las hojas con síntomas de deficiencia presentaron valores muy inferiores a lo indicado.

**Hierro.** No se observó deficiencia de hierro en la zona. Los valores de Fe foliar presentados en el Cuadro 2 son superiores a 60 ppm, límite de la clase marginal. Este comportamiento es explicable dada la elevada acidez de los suelos de la Sabana. En dos casos (Tres Caminos plano y Argentina 2) los niveles encontrados se consideran tóxicos y pueden estar afectando la nutrición con Mn (Mengel y Kirkby, 1982).

**Cobre.** La deficiencia de Cu no se observó en el campo. Concentraciones de este elemento en el tejido (Cuadro 2) indican niveles que se consideran adecuados, excepto en un caso (Argentina) en el que resultó ser marginal. Sin embargo, se estima que la información actualmente existente no es suficiente para obtener conclusiones al respecto.

**Levantamiento Nutricional**

En el Cuadro 3 se presentan las concentraciones promedio de nutrimentos en 13 zonas citricolas de la Sabana de Huimanguillo. En 10 zonas los porcentajes promedios de N foliar fueron inferiores al considerado como límite superior de la clase marginal, en tanto que el P fue deficiente (< 0.09%) sólo en dos de éstas y marginal en otras dos. Los porcentajes promedios de K no fueron ni marginales ni deficientes (superiores a 0.7%) en ninguna de las zonas estudiadas, en un caso de sospecha de toxicidad (> 2.3%).

Las deficiencias máximas de N se presentaron en las áreas Esperanza, Sabana Larga, Chontalpa Limón, Chontalpa Providencia, Pedregal y Tierra Nueva.

En estas zonas predomina el limón persa y parece ser que esta especie es más susceptible a la deficiencia de N que la naranja valencia. La Chontalpa Limón se caracteriza por tener áreas que se inundan durante el período de lluvias, lo cual podría explicar los bajos niveles de N en la planta debido a desnitrificación y lixiviación del N-NO<sub>3</sub>. Los niveles de materia

Cuadro 3. Concentraciones promedio de nutrimentos en hojas de cítricos en la Sabana de Huimanguillo, Tabasco.

Area	n <sup>1)</sup>	Concentración foliar		
		N	P	K
		- - - - - % - - - - -		
Icacal	7	2.56	0.11	1.90
Tres Caminos	4	2.47	0.12	2.19
El Sol	3	2.43	0.12	1.85
Argentina	11	2.34	0.12	2.30
Panorama	3	2.29	0.10	2.17
Clahuamara	1	2.25	0.12	2.06
Cocodrilo	1	2.20	0.13	1.90
Tierra Nueva	3	2.18	0.10	2.07
Pedregal	5	2.15	0.11	1.41
Chontalpa	4	2.12	0.14	1.92
Providencia				
Chontalpa	9	1.54	0.12	1.63
Limón				
Sabana Larga	18	1.75	0.09	1.52
Esperanza	4	1.56	0.08	1.91

1) n = número de sitios

orgánica en la Sabana de Huimanguillo son altos (4 a 6%, según Palma *et al.*, 1985), lo cual, en teoría, aseguraría una buena disponibilidad de N de no mediar el exceso de humedad que se presenta en ciertas épocas del año y favorece la anaerobiosis.

Este fenómeno también puede ocurrir en otras zonas. La deficiencia de N puede no ser la causa primaria de la sintomatología observada sino la consecuencia de los fenómenos de ausencia de oxígeno en el suelo.

Las zonas que presentan mayor tendencia de sitios con deficiencia de P son Sabana Larga y Esperanza y en menor proporción Pedregal y Argentina.

Es preciso identificar con mayor precisión dentro de cada zona los sitios que adolecen de este problema para adoptar prácticas correctivas. Para ello sería necesario contar con

métodos de análisis de suelo debidamente calibrados, capaces de medir la disponibilidad de estos nutrimentos para las plantas.

En el Cuadro 4 se presenta la distribución porcentual de los sitios (73) en las cinco clases nutricionales propuestas por Reuter y Robinson (1986) para cítricos.

Del total de sitios analizados un 81 y 49% resultó deficiente o marginal en N y P, respectivamente. Mientras que ningún sitio resultó con problemas de K. De acuerdo con el significado de estos datos, los rendimientos de fruto están siendo abastecidos por los bajos niveles de los dos primeros nutrimentos y se requiere de una intervención inmediata en las prácticas de fertilización vigentes para elevar las concentraciones a porcentajes superiores a los niveles críticos, particularmente en el caso de N, ya que se sabe que los cítricos requieren de gran cantidad de este elemento para su desarrollo (Cohen, 1986; Del Rivero, 1968). La edad media de estas plantaciones es de 4 a 5 años, aun cuando existen algunas de más de 20 años. Por lo que se supone que el desarrollo futuro de los árboles jóvenes estará fuertemente afectado de no hacerse oportunamente las correcciones señaladas.

Cabe mencionar que los estándares propuestos por Reuter y Robinson (1986) son más elevados que los estándares propuestos para

Cuadro 4. Distribución porcentual de los sitios en clases nutricionales.

Clase	N		P		K	
	n <sup>1)</sup>	%	n <sup>1)</sup>	%	n <sup>1)</sup>	%
Deficiente	37	50.6	25	34.2	0	0
Marginal	29	39.7	13	17.9	0	0
Adecuada	5	6.8	35	47.9	10	13.7
Alta	2	2.7	0	0	54	74.0
Tóxica	0	0	0	0	9	12.3

1) Número de sitios.

las zonas cítricas de Colima y Tamaulipas en México (Orozco, 1979). Algunos sitios experimentales con porcentajes nutrimentales considerados como deficientes no mostraron sintomatología visual, como era de esperarse, lo cual sugiere la necesidad de generar estándares propios para la zona.

En el Cuadro 5 se presenta el resultado de la encuesta sobre suelos y manejo de los huertos, que se realizó en forma paralela al estudio nutricional. En el se puede observar que la mayoría de los suelos tiene un pH extremadamente ácido, lo cual aparentemente no afecta la disponibilidad de P para las plantas. La profundidad del suelo al estrato arcilloso en la mayoría de los casos es de aproximadamente 50 cm, pero en algunos lugares es de 20 cm, principalmente en zonas fuertemente erosionadas. La mayor parte de las raíces secundarias de los cítricos se encuentra en el horizonte A (0-30 cm) y muy pocas en el horizonte B (> 30 cm). Es posible que esto se deba a la susceptibilidad de los cítricos a las altas concentraciones de Al intercambiable que se encontraron en el subsuelo.

Del Cuadro 5 se deduce que las plantaciones de la Sabana de Huimanguillo son jóvenes y muchas de ellas no están en producción, que la especie que predomina en la zona es naranja, seguida de limón y luego de la toronja. Los niveles de fertilización que actualmente aplican los citricultores de la zona son muy variados, éstos emplean principalmente fertilizantes químicos, como la urea, sulfato triple y, en menor proporción, aplicaciones foliares de micronutrientes.

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

1. En la zona se detectaron deficiencias visuales de N, P, Mg, Mn, Zn y posiblemente Cu.
2. Una gran mayoría de los sitios estudiados (81%) mostró niveles deficientes o marginales de N, lo cual se supone reduce la producción de frutos de los árboles. Es preciso modificar las prácticas actuales de fertilización para

Cuadro 5. Manejo de los cítricos en áreas muestreadas de la Sabana de Huimanguillo, Tabasco

Area	Suelos					Manejo del cultivo					
	Topografía				pH <sup>2)</sup>	Edad (años)	Fertilización g/arb/año				
	Lomerío	Bajas plana	Lomerío plana	Prof.de arcilla <sup>1)</sup>			N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	Micr.	
I	Icacal	+	+		30-50	4-5.5	3-4	Se sembró sandía y se fertilizó			
II	Tres Caminos	+		+	20-40	4-5.0	5	4-5 kg estiérc./árbol			
III	El Sol	+	+		30-50	4.0-4.5	5	4-5 kg estiérc./árbol			
IV	Argentina	+	+	+	40-60	4.5-5.0	4	4-5 kg estiérc./árbol			
V	Panorama			+	50-55	5.0	5	205	-	-	-
VI	Clahuamara		+		60	4.5	3	-	-	-	-
VII	Cocodrilo			+	20-30	4.4-4.9	4.5	-	-	-	-
VIII	Tierra Nueva	+	+		60	4.5-5.5	2-24	320	90.0		
IX	Pedregal	+	-		40	4.5	6	85.0	85.0	85.0	
X	Chontalpa Providencia			+	40-50	5.0	8	230	?	-	2
XI	Chontalpa Limón		+		40-60	5.0	8	230	?	-	2
XII	Sabana Larga		+	+	40-50	5.0	3-4	0-100	0-100	-	-
XIII	Esperanza		+	+	65	5.0	3	23	-	-	-

1) La profundidad donde se encontró el material arcilloso, con barrenación.

2) Se midió en campo con papel indicador.

? = No se tiene el dato preciso.

elevantar los contenidos nutrimentales de N. Se precisa determinar los requerimientos de N por árbol de acuerdo a la edad de éstos y su potencial de producción.

3. El 54% de los sitios presenta niveles deficientes o marginales de P, lo cual, al igual que el caso anterior, reduce los rendimientos. Se precisa corregir dicha deficiencia y determinar los requerimientos según edad y potencial de rendimiento.

4. No se observaron síntomas visuales de K y los análisis químicos de hojas confirmaron que los niveles de este nutrimento se encuentran ubicados entre las clases adecuada a tóxica.

## LITERATURA CITADA

COHEN, A. 1986. Fertilización de cítricos. Instituto Internacional de la Potasa, Berna, Suiza (Boletín 4).

CHAPMAN, D. H. 1961. The status of present criteria for the diagnosis of nutrient conduction in citrus, pp. 75-106 In: W. Reuther (ed). Proceedings of the Third Colloquium on Plant Analysis and Fertilizer Problem. American Institute of Biological Sciences, Washington, D. C.

DEL RIVERO, J.M. 1968. Los estados de carencia en los agrios. Segunda edición. Ediciones Mundi-Prensa, Madrid, España.

**ETCHEVERS B., J.D.** 1988. Diagnóstico de la fertilidad del suelo. Curso intensivo. Colegio de Postgraduados-CEICADES, Cárdenas, Tabasco (Documento mimeografiado).

**INEGI.** 1985. Carta edafológica-Villahermosa, Escala 1:250.000. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática - SPP, México, D.F.

**LANDON, J.R.** 1984. Booker tropical soil manual. Booker Agriculture International Limited, Londres, Inglaterra.

**MENGEL, K. y E.A. KIRKBY.** 1982. Principles of plant nutrition. 3rd Edition. International Potash Institute, Bern, Suiza.

**ORDOÑEZ B., P. y F. CAMPO P.** 1981. Estudio sobre nutrición mineral para el establecimiento del pasto Estrella de Africa (*Cynodon plectostachyus*, Pilger) en suelos ácidos de la Sabana de Huimanguillo, Tabasco, Colegio Superior de Agricultura Tropical, Cárdenas, Tabasco (Tesis de licenciatura).

**OROZCO R., J.** 1979. Estudio sobre las relaciones entre la fertilización con N, P, K, el análisis foliar, la producción y calidad de limón mexicano (*Citrus aurantifolia*). Colegio de Postgraduados, Chapingo, México (Tesis de licenciatura).

**PALMA L., D.J., J. CISNEROS D., A. TRUJILLO N., N. GRANADOS A. y J. E. SERRANO B.** 1985. Caracterización de los suelos de Tabasco. Uso actual, potencial y taxonomía. Gobierno del Estado de Tabasco, Secretaría de Educación, Cultura y Recreación, Villahermosa, Tabasco.

**REUTER, J.P. y J.B. ROBINSON.** 1986. Plant analysis. An interpretation manual. Inkata Press, Melbourne, Australia.

**TISDALE, S.L., W. L. NELSON y J. D. BEATON.** 1985. Soil fertility and fertilizers. Fourth edition. McMillan Publishing Co, New York, N. Y.

**ZAMORA T., R.** 1986. Fertilización del limón persa (*Citrus latifolia* Ton.) con NPK en suelos ácidos de la Sabana de Huimanguillo. Colegio Superior de Agricultura Tropical, Cárdenas, Tabasco (Tesis de licenciatura).

# HISTORY OF SOIL SALINITY AND IRRIGATION WATER QUALITY RESEARCH IN THE USA

Historia de la Investigación en Salinidad del Suelo y Calidad del Agua de Riego en Estados Unidos de América

S. Miyamoto

Texas A&M Univ. Agr. Res. Ctr, 1380 A&M Circle, El Paso, TX 79927, USA

## RESUMEN

El riego, en su concepción moderna, se inicia en el oeste de los Estados Unidos de América (EUA) durante la década de 1850. Los problemas de salinidad en las tierras regadas se reconocieron alrededor de 1900 por científicos pioneros, tales como Hilgard y Dorsey. Aunque por esos tiempos se propusieron varias soluciones al problema de la alcalinización, tales como lixiviación, drenaje, y el uso del yeso, los mecanismos o los procesos envueltos eran poco comprendidos. Entre 1906 y 1922 se formularon numerosas preguntas en relación a el efecto de las sales en los suelos y los cultivos, y acerca de las consecuencias que tenía el empleo de aguas de riego salinas. A pesar del esfuerzo por resolver los problemas de salinidad, éstos persistían, lo cual condujo a la creación, en 1937, del Laboratorio Regional de Salinidad de EUA. En menos de 10 años desde su creación, este laboratorio produjo una monografía sobre diagnóstico y mejoramiento de los suelos salinos y alcalinos, que se publicó posteriormente en 1954 como el Manual 60 del Departamento de Agricultura de EUA. En esta monografía se consignaron los conceptos básicos acerca de los suelos salinos y alcalinos, el efecto de las sales sobre los cultivos, la recuperación de los suelos salinos y/o alcalinos, y las ideas principales relacionadas con la calidad de las aguas para regadío y con el manejo del riego para controlar la salinidad. Muchas de estas ideas se ensayaron en campo durante las décadas de los años cincuenta y sesenta. La investigación más reciente se ha enfocado en la identificación de los mecanismos envueltos en la salinización y recuperación de los suelos afectados por sales y en la cuantificación de los procesos responsable de ambas. A través de toda la historia, la fuerza impulsora de la investigación en salinidad ha sido

el incremento constante de los problemas de alcalinización desde que éstos emergieron, así como los problemas relacionados con la calidad del agua y el manejo del agua para riego, que aparecieron después de la década de los cincuenta. La forma de atacar estos problemas ha sido pragmática, aunque el entendimiento de ellos fue el resultado de un esfuerzo intelectual profundo y una correcta experimentación. En este momento estamos más cerca que nunca de mantener una agricultura de riego permanente, pero en muchas áreas a costa de una degradación de la calidad del agua en términos de cuenca.

## SUMMARY

Modern irrigation in the American West began during the 1850's and widespread salinity problems in irrigated land were recognized by 1900 by such pioneer scientists as Professor Hilgard and Dr. Dorsey. Various remedies for alkali problems such as leaching, drainage, and the use of gypsum were also proposed, but with little understanding of the mechanisms or the processes involved. During the period of 1906 to 1922, serious scientific questions were raised in regard to the effects of salts on soils and crops, and the consequences of irrigation with saline waters. Meantime, salinity problems persisted, and this led to the establishment of the US Regional Salinity Laboratory in 1937. Within 10 years of the establishment, a monograph on diagnosis and improvements on saline and alkali soils was put together, which was later published in 1954 as USDA Handbook 60. The basic concepts on saline soils, alkali soils, salt effects on crops, reclamation of saline and/or alkali soil, appraisal of water quality for irrigation, and the basic ideas on irrigation manage-

1) Contribution from the Texas Agricultural Experiment Station, Texas A&M System, presented as a Keynote Speech at the 21st Congress of Soil Science Society of Mexico (Nov. \*8, 1988 Cd. Juarez, Mex.)

ment for salinity control were outlined in the monograph. Many of these ideas were field-tested during the 50's and the 60's. More recent research has focused on the identification of the mechanisms involved and the quantification of related processes. Throughout this history, the driving force of salinity research was the mounting alkali problems which emerged in early years, and water quality and irrigation water management problems which appeared mostly after the 50's. The approach used to tackle these problems has been pragmatic, yet the correct understanding of the problems came about only with probing thoughts and sound experimentation. We are now closer than ever to maintaining irrigated agriculture on a permanent basis, but in many areas at the expense of water quality degradation on a basin-wide scale.

### INTRODUCTION

Irrigated agriculture has been the economic backbone of many western states, and its development can definitely be regarded as a success story. This was achieved despite a previous history of failures caused by water logging and soil salinization in irrigated crop production in arid and semi-arid regions of the world. Of course, the period of modern irrigation in the American West is short compared to most other nations. However, it now extends over one century plus one century of modern agricultural research. It seems to be an opportune time to review how the knowledge of soil salinity and its control through irrigation management has advanced.

### EARLY DEVELOPMENT (1847 - 1937)

#### Emergence of Modern Irrigation Farming

In North America, both native Americans and Spanish settlers had engaged in irrigated farming, but mostly on a small subsistence scale. Because of this, agricultural historians seem to give credit to the Mormons for laying the foundation of modern irrigation in America. Wiltsoe (1920), for example, wrote: "The Mormon pioneers possess the honor of having founded modern irrigation in America, not because of the initial irrigation on July 24, 1847, but because they developed permanent irrigation agriculture on a community scale under the conditions and the knowledge of modern civilization."

Shortly after the arrival of the Mormons, gold was discovered in California (1850). Many gold hunters passed through Utah, and the knowledge of irrigated farming spread into the Golden State. Irrigated farming continued to expand, and by 1865, 150,000 acres were irrigated in the mountain states alone. To assist the expanding farming enterprise, the State Agricultural Experiment Stations were established in 1887, first in Colorado then in Utah. The involvement of the Federal Government has also increased with the establishment of the Irrigation Investigations of

the Office of Experiment Station under US Department of Agriculture (USDA) in 1898, and later, the United States Reclamation Service under US Department of Interior (USDI) in 1902. The Reclamation Act was passed in 1902, and large scale irrigation projects began. The construction of the Elephant Butte dam in the Rio Grande had already begun in 1910 and was completed by 1916.

#### Recognition of Salt Problems

Expanding irrigated farming brought about its share of problems, namely water-logging and wide-spread soil salinization in a period of less than half a century. This problem is not greatly different from those which occurred in many irrigated areas of the arid and semi-arid regions of the world. According to Dorsey (1906b) and Professor Letey (keynote speech at the International Conference on Soil Salinity under Irrigation, Israel, 1984), Professor Hilgard was among the first to recognize salinity problems in California and made an official (English) report to the President of the University of California in 1877. By 1882, Professor Hilgard recognized two types of alkali: white alkali formed by sulfate salts, and black alkali formed by sodium carbonate and its reaction with soil organic matters.

Dorsey (1906a), a pioneer soil scientist with the Bureau of Soils, provided the most vivid account of the alkali problem: "A problem of paramount interest in many irrigation districts in the arid states is the successful treatment of alkali soils. In certain localities, successful farms of a few years ago are now abandoned, flourishing fields have been transformed into barren alkali flats, and land values have greatly depreciated, all on account of alkali." By 1920, overirrigation was identified as a cause of salt problems. According to Wiltsoe (1920): "By overirrigation, water is lost, plant-food is lost, thus the upper lands are impoverished and the lower lands made useless." The contribution of transpiration and evaporation to the upward salt transport was also identified, and was referred to as "upward leaching" at the time.

Our pioneers wasted no time to come up with remedies. According to Dorsey (1906b), Professor Hilgard wrote in 1877 that "Remedy for alkali is leaching by flooding, if possible, by underdrains". He became quite confident and proclaimed that "the time is not far distant when in California the laying of underdrains will be considered an excellent investment. When that day comes, alkali will no longer be found in irrigated land in this state" (Hilgard, 1889). Indeed, drainage measures have helped remedy salt problems in many irrigation districts. But, by 1906, he decided to modify his statement: "In the case of black alkali, the impenetrability of the surface soil itself will render underdrains ineffective", and he continued, "unless sodium carbonate is first converted to sodium sulfate by the use of gypsum" (Hilgard, 1906). He evidently thought that carbonates were the source of the problem, but not *Na per se*.



Dr. Widtsoe who became the President of the University of Utah also wrote in 1920: "Alkali is most injurious if concentrated near the surface. If distributed evenly through the soil, relatively large quantities of alkali may be endured by plants." Of course, this idea was later found to be incorrect. He was also under the opinion that "With our present knowledge, there is no reason why the alkali plaque should be feared."

#### Scientific Inquiries

In spite of the optimistic assessments by Professor Hilgard or Dr. Widtsoe, salinity problems persisted, and some began to raise serious scientific questions. Dorsey (1906a) wrote: "... In discussing the subject of alkali, many questions naturally arise; what is alkali; how was it accumulated; can its accumulation be prevented; can it be removed and the soil restored to its original fertile conditions?" Dr. Kelley and Brown (1925) also challenged the prevailing thought of the time: "The ideas that an alkali soil is merely a soil which contains an excess of soluble salts and that the removal by drainage restores the soil, are only partial truths. This ignores the fact that sodium brings about deep-seated changes in certain components of the soil." Kelley also stated in 1922: "It is evident that the analysis of a single soil sample drawn from one place within the area studied has very little value. If similar variation exists in alkali soils generally, it may be safe to conclude that the analysis of samples such are commonly submitted by practical farmers is a waste of time. ...Because of the complex nature of the variation in this soil, the writer does not consider it permissible to apply usual statistical treatment." These probing questions led to the series of studies to follow on cation exchange reactions, behavior of clays and spatially variable phenomena as pointed out earlier by Professor Letey (1984)<sup>11</sup>.

Dr. Widtsoe also expressed concern over the use of saline water for irrigation, and in 1920, he wrote "Kearney found that the native irrigationists of northern Africa raised successfully many of the ordinary crops with water containing 8,000 ppm of dissolved salts. Hilgard, as a result of his long life of experimentation, holds that from 1,200 to 1,700 ppm soluble matters represent the highest limit of endurance for ordinary plants." He then concluded that "the whole subject is in a confused state and needs extensive investigation." He also cautioned that "when saline waters are used for irrigation, it is necessary to reverse the usual rule and to use quantities of water so large that drainage is assured. Such handling of saline water is, however, dangerous in that the excess of water, heavily alkaline, may appear on the lower land there to cause injury. Before saline waters are used for irrigation, they should be investigated carefully as to their probable effect on the land." These questions were raised as early as 1920, but are still alive today.

Sampson (1939) raised a question concerning the use of indicator plants: "In the future a broader use of indicator communities and

species is likely, but such use is sure to be backed by sounder evidences than it has at this time. Preceding this possible broadened use, there must first be more critical study of the growth requirements of both the indicator plant and the economic species." From this statement, we see the clear evolution of crop salt tolerance research.

While these scientific questions were being raised, pioneer scientists were also making accurate discoveries that have endured scientific scrutiny. For instance, Mackie (1907), through careful experimentation, correctly identified that the beneficial effect of gypsum is in part to improve soil structure. The measurement of electrical resistance was also proposed for determining the total amount of soluble salts in soils (Whitney and Means, 1897). Scofield and Headley (1921) also made an accurate observation: "Hard water makes soft land and soft water makes hard land." He also observed that the adverse effect on soil structure is caused not by sodium carbonate, but by sodium itself, and it can be corrected by the addition of Ca or Al compounds. The exchange reaction phenomena were also correctly characterized by Dr. Kelley and his associates (1931) and by Professor Vanselow as early as 1932.

In summary, we see the pioneer role of Professor Hilgard who identified white alkali, black alkali, and plant species which might indicate high levels of salinity in soils. He also recognized leaching as the principal remedy of white alkali, and gypsum treatment to be the way to combat black alkali, although he did not understand the mechanism correctly. His pioneer ideas led to the present day research on saline soil reclamation, sodic soil reclamation, and crop salt tolerance. Mackie can be credited for his accurate observations of soil structure; Scofield and Headley for their observations of soft water and hard water, which led to the present day research on irrigation water quality. Dr. Kelley, in my view, holds a special place in the history of soil salinity research for his accurate assessment on complex variation, which is now being studied under a new name of spatial variability, and for his probing thoughts on deep-seated changes in certain components of the soils.

#### ESTABLISHMENT OF US SALINITY LABORATORY AND CONTEMPORARY DEVELOPMENTS

The seriousness of the problem led to the passage of the Bankhead-Jones Act of 1935, which authorized the funding to establish the US Regional Salinity Laboratory at Riverside, California. The Laboratory was completed in 1937 and has assumed the leadership role in soil salinity research ever since. Within 10 years of the establishment, the staff of 12 put together a comprehensive monograph on saline and alkali soils, which was subsequently published in 1954 as USDA Handbook 60 "Diagnosis and Improvement of Saline and Alkali Soils". The actual research activities during this period were, however, curtailed due to

the depression and World War II. After the War, aggressive research began, and the name of the laboratory was modified in 1951 to the current name of the United States Salinity Laboratory. Starting in the 60's, international cooperation, especially with the State of Israel was strengthened. Let us review some of the key developments.

#### Reclamation of White Alkali

Large scale field experiments to test the efficacy of ponded leaching were carried out by Reeve and his associates (1948, 1955) in Utah, then in California. Nielsen and Biggar (1961, 1962) at UC Davis introduced the miscible displacement theory; Terkeltoub and Babcock (1971) the mixing cell model. Many practical ideas such as intermittent ponding (Carter and Fanning, 1964), profile modifications (Rasmussen and McNeal, 1973), and leaching with sprinklers (Oster *et al.*, 1972) were also tested through extensive field trials. More recently, Hoffman (1980) reviewed leaching studies and developed a simple leaching formula for reclamation.

$$(C - C_i)/(C_0 - C_i) = a (d_w/d_s), d_s/d_w > 1.0 \quad (1)$$

where  $C$  is the salt concentration in soil solution,  $C_0$  the initial  $C$ ,  $C_i$  the salinity of leaching water,  $d_s$  the depth of soil to be reclaimed,  $d_w$  the depth of leaching water required, and  $a$  the empirical constant ranging from 0.1 for sandy loam to 0.3 for clay loam under ponded leaching. Under intermittent ponding or sprinklers, the value for  $a$  is approximately 0.1, meaning that about 90% of the soluble salts initially present can be leached when the leaching water is applied to a depth equal to the soil depth to be reclaimed. This simple, yet useful equation deserves close attention and verification.

Many saline soils appear in the areas of high water tables. This situation triggered extensive research on drainage. Professor Luthin is probably among the first to address salt leaching into tile-drained fields (Luthin, 1950). He recognized that salt leaching with ponded water into drain tiles ordinarily results in immediate solute removal directly above the drains, but with much slower and usually incomplete leaching toward the mid-points between the drains. Theoretical considerations of this problem were then presented by Miyamoto and Warrick (1974a/1974b), who suggested to pond leaching water only in the low-velocity regions for improving leaching efficiency. The efficiency of leaching was also found to be improved by intermittent ponding over tile-drained fields by an Australian engineer (Talsma, 1967). Intermittent water application provides one-dimensional vertical flow in the region above the water table. Stewart *et al.* (1976) proposed to use lateral salt leaching by ponding alternate furrows in high water table areas.

Contemporary issues evolve around spatial variability which affects uniformity and efficiency of salt leaching in the fields (e.g. Biggar and Nielsen, 1976; Russo and Bresler, 1981; Russo, 1984). Most fields, especially those developed in the alluvial

plain, consist of soils with different hydraulic properties. Leaching water, especially under ponded leaching, percolates predominantly through sandy portions having high permeability, thus leaving clay portions poorly leached (e.g. Miyamoto and Cruz, 1986). Even under sprinklers, a difference in hydrodynamic dispersion and water holding capacity causes a difference in the rate of salt leaching. This results in either uneven leaching or large leaching water requirements, unless the leaching operation is conducted in accordance with field variation in soil hydraulic properties.

The early concept of leaching for reclamation was thus substantiated through field experimentation, and the efficiency of the operation has improved through theoretical understanding of solute flow processes. The development of powerful subsoiling and deep-plowing machines has certainly contributed to improved reclamation. The reclamation of saline clay, however, remains often uneconomical, mainly because of the time, the cost, the large volume of water involved for leaching and high potential for the secondary salinization.

#### Reclamation of Black Alkali

The Salinity Laboratory confirmed that changes in soluble Na and Ca concentrations bring about quantitative changes in exchangeable sodium, and the state of equilibrium can be described by an equation originally proposed by a Russian soil scientist, Gapon (1933).

$$ESP = SAR \quad (2)$$

where SAR is the sodium absorption ratio computed from the concentrations of Na, Ca and Mg in equilibrium solutions.

Many soil chemists, however, were not satisfied with the accuracy of the above equation, and several modifications were proposed (e.g. Krishnamoorthy and Overstreet, 1950; Sposito, 1977). The relationship between the exchangeable Na ratio and SAR in  $SO_4$  rich soils was found to be significantly different from that in Cl-rich soils because of the formation of ion-pairs (Rao *et al.*, 1968; Nakayama, 1975). To accommodate these difficulties, the SAR corrected for ionic strength and ion pairs is now used by most soil chemists. Exchange constants (or selectivity coefficients) were also found to be dependent upon clay minerals and several other factors (e.g. Shainberg *et al.*, 1980). These are continuing subjects of research among soil chemists even today.

Improved understanding of cation exchange reactions then provided a rational understanding of gypsum amendment, which is to replace excess exchangeable Na with Ca, but not necessarily to convert sodium carbonate to sodium sulfate as originally thought. By 1935, the use of sulfur was proposed along with the understanding of bacterial oxidation which leads to dissolution of calcium carbonates (Kelley and Brown, 1934; McGeorge and Green, 1935).

The first (documented) field experimentation of sulfuric acid was performed by

Overstreet *et al.* (1951) in California. About the same time, polyelectrolyte synthetic organic compounds were found effective for stabilizing dispersed soil structure (e.g. Allison, 1952; Martin *et al.*, 1952). The use of these synthetic compounds, however, has not become widespread. Recognizing the favorable effect of high salt water on soil hydraulic conductivity, Reeve and Bower (1960) and Reeve and Doering (1966) proposed to use saline water for initial leaching of sodic soils. This method helps reduce the initial leaching time, but substantially increases drainage volume. Muhammed *et al.* (1969) proposed to combine this method with gypsum amendments, especially when the leaching water is sodic.

Starting in 1970, pollution abatement and industrial waste handling became a critical issue. Large copper smelters in the Southwest began to produce several million tons of concentrated sulfuric acid annually, and the gasoline alkylation process (to produce high octane gas) increased the output of spent sulfuric acid. Renewed and more comprehensive research on sulfuric acid as an amendment then followed (e.g. Miyamoto *et al.*, 1975; 1977). Phosphoric acid plants provide calcium chloride and phospho-gypsum as by-products. The use of these by-products for reclamation was studied mostly in Israel (e.g. Keren and Shainberg, 1981; Shainberg *et al.*, 1982).

With the improved knowledge on cation exchange, mineral dissolution and ion equilibria in soils, several solute reactions and transfer models were also introduced for describing reclamation processes (e.g. Dutt *et al.*, 1972; Tanjin *et al.*, 1972; Oster and Frenkel, 1980). These models can predict fairly accurately changes in ESP and EC in soil profiles, but not soil permeability. Because of this shortcoming, it is still difficult to predict the rate of reclamation.

#### Water Quality

The primary concern for water quality at the early stage was the content of sodium carbonate (e.g. Stabler, 1911). During the same period, workers in California were concerned with boron contents of irrigation waters. Following the work of Kelley and Brown (1928), boron criteria for irrigation waters were proposed in the 1930's by Eaton (1935) and Scofield (1936). The method of Scofield (1936) was later adopted in Handbook 60.

Subsequent research emphasis has shifted toward the problem of sodium carbonate, probably because waters containing high contents of sodium carbonate were found more frequently than those containing excessive boron. Eaton (1950) recognized that a portion of the carbonate may be removed through a precipitation reaction with Ca and Mg present in irrigation waters, and proposed to use "residual  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  contents" as an index. This index is still used by some. The Salinity Laboratory proceeded to use the SAR parameter instead of sodium carbonate for characterizing irrigation waters. Here, we see the change in thinking from carbonates to sodium in characterizing irrigation water. A method of adjusting SAR for carbonates was then proposed by Bower and his associates (1968) at the Salinity Laboratory. Doneen

(1961) proposed a different index called "permeability index" which included carbonates as well as Na, Ca and Mg. However, this method met with little acceptance, probably because the index is not quantitatively related to ESP. The method of Bower and his associates was then somewhat modified (e.g. Rhoades, 1968) and has been quoted extensively in subsequent literature. However, more recent studies of Bingham *et al.* (1979), Oster and Schroer (1979) and several others indicated that this method may overestimate the effect of carbonates on the sodium hazard of irrigation waters. An alternative method of adjusting SAR for carbonate was then proposed independently by Miyamoto (1980) and Suarez (1981) based on a solution of carbonate equilibria.

The focal point of studies related to sodicity has been to assess its impact on soil structure and hydraulic conductivity. Following the work of Quirk and Schofield (1955) in Australia, McNeal *et al.* (1966) and McNeal and Coleman (1966) found that hydraulic conductivity of montmorillonitic soils decreases with decreasing total salt concentrations or increasing SAR of percolating solutions. The reduction in hydraulic conductivity was largely attributed to the swelling of expandable clays at ESP values exceeding about 15. The concept of clay swelling and the threshold ESP of about 15 have dominated the thinking of the time, although McNeal *et al.* (1966) had indicated that soil particle dispersion could also reduce hydraulic conductivity. Starting in the late 1970's, Israeli soil scientists made substantial contributions to the understanding of particle dispersion effects on soil hydraulic conductivity (e.g. Frenkel *et al.*, 1978a; Felhendler *et al.*, 1974; Shainberg *et al.*, 1981). These studies show that hydraulic conductivity may be reduced even at ESP values less than 15 when the salinity of percolating water is low. More recently, Abu-Sharar *et al.* (1987) and Fukumura and Miyamoto (1988) came to an identical conclusion that aggregate breakdown is the main mechanism of reducing hydraulic conductivity at low or zero exchangeable percentage. It appears that we now have some scientific understandings of the statement of Scofield and Headley (1921). The magnitude of the reduction depends on soils (e.g. McNeal, 1968; Oster and Schroer, 1979; Cass and Sumner, 1982), and its prediction is a continuing subject of research among soil chemists and physicists today.

Starting in the 1960's, water-run application of various chemical fertilizers became popular, especially in the production of field crops. This complicated the characterization of water quality. Several farmers noted that anhydrous ammonia ( $\text{NH}_3$ ) or aqua ammonia ( $\text{NH}_4\text{OH}$ ) applied through irrigation waters makes land hard. The reason for this phenomenon was offered by Miyamoto and Ryan (1976) as being the result of Ca and Mg precipitation caused by raising pH. Application of fertilizer elements which release hydrogen or prevent Ca precipitation such as ammonia-acid, and urea-acid blend was found to increase water intake rates when applied through irrigation water low in salinity (e.g. Miyamoto and Stroehlein, 1986). The addition of Ca compounds such as gypsum and calcium nitrate or calcium

chloride also yields a similar effect (e.g. Wildman *et al.*, 1988). The quantitative prediction of chemical amendments on soil permeability, however, still requires additional studies.

Besides soft water, extremely hard waters are also found in many parts of the Southwest. These waters are practically saturated with respect to calcite and gypsum, and have been used for some time for irrigation. Besides the problem of incrustation of irrigation systems, potential permeability reduction caused by plugging of soil pores with precipitated calcium carbonates and gypsum became a concern. Frenkel *et al.* (1978b) made the quantitative estimates of salt precipitation, yet the full impact on soil permeability is difficult to assess at present, partly because the mode of precipitation is not well understood.

Many attempts have been made to classify irrigation waters; e.g. Wilcox (1948), the US Salinity Laboratory (1954), Doneen (1961), and California Committee of Consultants which was later adapted in FAO Paper 29 by Ayers and Westcot (1985). Any of these classifications should be viewed as a general guide only, and whether water of given quality can be used for irrigation or not largely depends on soil permeability, irrigation methods, drainage conditions, and, of course, types of crops to be grown. In sandy soils of the Southwest, for example, cotton has been grown successfully with waters of 4 to 6 dSm<sup>-1</sup>, (e.g. Miyamoto *et al.*, 1984), even though such waters are ordinarily classified as unfit for irrigation. These schemes were also established with the assumption that only one type of water is available in a given area. When low salt water is available for crop establishment, water of high salinity can be used for many crops without yield reduction. The use of saline waters during maturation of fruit crops such as tomatoes may even improve quality of the produce (e.g. Mizrahi *et al.*, 1988). Research which determines the best way of using saline waters in conjunction with low salt water must go on, and it has a worldwide implication today.

#### Irrigation Management for Salinity Control

The foremost concern of the 1950's was to determine the extent of salt leaching required for maintaining soil salinity of the rootzone acceptable for crop production on a permanent basis. In 1951, F.M. Eaton presented the following formula at the Irrigation Conference held at the Texas Agricultural Experiment Station at Ysleta (presently the Texas A&M Univ. Agric. Res. Ctr at El Paso).

$$LR = D_d/D_i = EC_i/EC_d \quad (3)$$

where LR is the leaching requirement,  $D_d$  the drainage quantity,  $D_i$  the irrigation quantity,  $EC_i$  the salinity of irrigation water, and  $EC_d$  the salinity of drainage water. Eq (3), referred to at the time as "the Ysleta formula", was then adapted in many literature as the one-dimensional steady-state leaching equation with no salt precipitation (or uptake) and no rainfall.

This simple equation provided a conceptual base to tie water quality with irrigation management. For instance, in order to maintain salinity of drainage water at a certain value, we may increase drainage through increasing the depth of irrigation. Conversely, if high drainage is feasible, water of high salinity can be used for irrigation, regardless of what water classification might indicate. This equation, however, does not specify how to relate salinity of drainage water to crop salt tolerance or if indeed the desired drainage can be achieved.

Relative to crop response, Bower and his associates (1969; 1970) observed that crop growth is controlled by the average salinity of the rootzone, rather than the salinity of the drainage water. With this information and with certain assumptions, Rhoades (1974) proposed the following equation to compute the leaching requirement to grow crops with a given salinity of water.

$$LR = EC_i / (5EC_c - EC_i) \quad (4)$$

where  $EC_i$  is the salinity of irrigation water, and  $EC_c$  is the crop salt tolerance expressed in salinity of saturation extract ( $EC_e$ ), which was updated recently by Maas and Hoffman (1977). Numbers of greenhouse and lysimeter experiments generally supported the idea embedded in Eq (4) (e.g. Shalhevet and Bernstein, 1968; Bingham and Garber, 1970). However, Bernstein and his associates (1973; 1975b) are of the opinion that crop responses are to the mean salinity of the water that was absorbed into plants. This concept makes the estimate of LR even less, especially under high-frequency irrigation. Additionally, this concept raises a question on the reliability of  $EC_e$  for assessing salinity hazard.

These experimental findings brought about the concept of growing crops with minimal leaching. This is certainly an attractive idea both from the view of water conservation and for minimizing drainage handling. The question is how to control leaching in actual irrigation practices. Take cotton as an example. Bernstein (1974) noted that  $EC_e$  corresponding to 10 and 50% yield reductions for cotton are 10 and 16 dS m<sup>-1</sup>, respectively. If we were to grow cotton with water of 4 dS m<sup>-1</sup>, as commonly practiced in far West Texas, the leaching requirements estimated by Eq (4) would be 9 and 5%, respectively. In other words, a 4% reduction in the leaching fraction can cause a yield reduction from 10 to 50%. Even under well-managed furrow irrigation, it is difficult to control leaching at this level of precision. In addition, field spatial variability in soil hydraulic properties causes a large difference in salt leaching (Miyamoto and Cruz, 1986; 1987). The leaching equation is a conceptual equation, and the actual leaching in the fields is largely controlled by soil permeability and irrigation methods employed. In fact, localized salinization of irrigated fields continues in the portion with low soil permeability, even when irrigation water is applied to the field in excess of crop consumptive use. This point has not been fully recognized until very recently.

Some salt problems are unique to the irrigation methods employed. Wadleigh and Fireman (1949) pointed out that under furrow irrigated conditions, soluble salts accumulate at the center of crop beds. To minimize the effects on crops, off-centered plantings, alternate furrow irrigation and variable row spacings were then proposed (e.g. Heald *et al.*, 1950; Longenecker *et al.*, 1970). Even with these methods, crop establishment under saline water irrigation remains a difficult task. Bernstein (1974) believed that the accumulated salt causes establishment difficulties by reducing seed germination or increasing seedling mortality. In pre-irrigated and reshaped beds, which are commonly used in the Southwestern USA, salt accumulation during the crop establishment period occurs predominantly at the soil surface of less than 5 mm, a depth shallower than common seeding depths. It is only a recent finding that establishment difficulties encountered with certain crops in saline areas are caused mostly by hypocotyl mortality and leaf-induced seedling mortality, rather than poor seed germination or root-induced seedling mortality (Miyamoto *et al.*, 1985; 1986). The hypocotyl mortality occurs while emerging through the salt crust, and the leaf induced mortality after light shower which splashes saline soil solution onto the seedling leaves. Seed treatments to accelerate the rate of emergence such as seed priming appear to be the best remedy to this problem.

Sprinkler irrigation (overhead type) can cause crop damage through foliar salt absorption. This problem was first reported with tree crops and shrubs in the 1950's (e.g. Ehling and Bernstein, 1959), then several vegetable crops (e.g. Bernstein and Francois, 1975a; Maas *et al.*, 1982) and cotton (e.g. Busch and Turner, 1965; Moore and Murphy, 1979). Foliar-induced salt damage depends not only on water quality, but upon weather conditions, day against night hours, frequency of irrigation, the types of sprinklers used, and crop growth stages. A recent innovation in Texas has provided a partial answer to the problem simply by replacing the sprinkler nozzle by drop tubes in center pivot systems (Lyle and Bordovsky, 1983). In this way, the direct contact of seedling leaves with sprinkled water can be avoided. However, this system can push salts right into the seeding zone, as water application rates are typically lower than the conventional furrow methods.

Drip or trickle irrigation also presented a unique problem of salt accumulation at the wetting front. With improved management skills, however, many advantages associated with this method of irrigation were also recognized. These include reduced fluctuation of salinity in the rootzone and improved control of water and salts for crop establishment. Although the actual uses of this method in the US are minimal at present, many have demonstrated that crops can be grown with waters of higher salinity under drip than we have considered possible under conventional surface or sprinkler methods.

One of the most pressing concerns today is the effect of irrigation on water quality on a basin-wide scale. Recall that Dr. Widtsoe cautioned in 1920 that irrigation with saline

waters produces heavily alkaline drainage water which may appear on the lower land to cause injury. Water quality degradation caused by inflow of drainage water is occurring in every major river basin in the western USA. When the discharge of drainage water into rivers or the ocean was not permitted, the disposal of drainage water became a major problem, as characterized by the Kesterson Reservoir problem in the San Joaquin Valley of California. When drainage water handling problems were not visible, drainage water typically contaminated underlying aquifers. Desalting of drainage water is currently costly. The use of drainage water for irrigation offers the most realistic solution, but the technology necessary to sustain crop production using drainage water still needs to be sophisticated.

#### LITERATURE CITED

- ABU-SHARAR, T.M., F.T. BINGHAM AND J.D. RHOADES. 1987. Reduction in hydraulic conductivity in relation to clay dispersion and disaggregation. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 51: 342-346.
- ALLISON, L.E. 1952. Effect of synthetic electrolytes on the structure of saline and alkali soils. *Soil Sci.* 73: 443-454.
- AYERS, R.S. AND D.W. WESTCOT. 1985. Water quality for agriculture. FAO, Irrigation & Drainage Paper 29. Rome, Italy.
- BERNSTEIN, L. 1974. Crop growth and salinity. In: *Drainage for agriculture*. Schilfgaarde (Ed.). Agronomy No. 17, ASA, Madison, WI.
- BERNSTEIN, L. AND L.E. FRANCOIS. 1973. Leaching requirement studies: Sensitivity of alfalfa to salinity of irrigation and drainage waters. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 37:931-943.
- BERNSTEIN, L. AND L.E. FRANCOIS. 1975a. Effects of frequency of sprinkling with saline waters compared with daily drip irrigation. *Agron. J.* 67: 185-190.
- BERNSTEIN, L., L.E. FRANCOIS AND R.A. CLARK. 1975b. Minimal leaching with varying root depths of alfalfa. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 39: 112-115.
- BIGGAR, J.W. AND D.R. NIELSEN. 1976. Spatial variability of the leaching characteristics of a field soil. *Water Resour. Res.* 12: 78-84.
- BINGHAM, F.T. AND M.J. GARBER. 1970. Zonal salinization of the root system with NaCl and boron in relation to growth and water uptake of corn plants. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 34: 122-126.
- BINGHAM, F.T., R.J. MAHLER AND G.SPOSITO. 1979. Effects of irrigation water composition on exchangeable sodium status of a field soil. *Soil Sci.* 127: 248-252.
- BOWER, C.A., G. OGATA AND J.M. TUCKER. 1968. Sodium hazard of irrigation waters as influenced by leaching fraction and precipitation or solution of calcium carbonate. *Soil Sci.* 106: 29-34.
- BOWER, C.A., G. OGATA AND J.M. TUCKER. 1969. Rootzone salt profiles and alfalfa growth as influenced by irrigation water salinity and leaching fraction. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 61: 783-785.

- BOWER, C.A., G. OGATA AND J.M. TUCKER. 1970. Growth of sudan and tall fescue grasses as influenced by irrigation water salinity and leaching fraction. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 62: 793-794.
- BUSCH, C.D. AND F. TURNER, Jr. 1965. Sprinkling cotton with saline water. *Prog. Agr. in Arizona* 17: 27-28.
- CARTER, D.L. AND D.C. FANNING. 1964. Combining surface mulches and periodic water applications for reclaiming saline soils. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 28: 564-567.
- CASS, A. AND M.E. SUMNER. 1982. Soil pore structural stability and irrigation water quality: I. Empirical sodium stability model. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 46: 503-506.
- DONEEN, L.D. 1961. The influence of crop and soil on percolating waters. In: *Proc. Biennial conference on ground water recharge*. Schiff, L. (Ed.).
- DORSEY, C.W. 1906a. Reclamation of alkali soils. US Dept. of Agric., Bureau of Soils. Bulletin Number 34.
- DORSEY, C.W. 1906b. Alkali soils of the United States. US Dept. of Agriculture, Bureau of Soils. Bulletin Number 35.
- DUTT, G.R., R.W. TERKETAUB AND R.S. RANCHKOLB. 1972. Prediction of gypsum and leaching requirements for sodium-affected soils. *Soil Sci.* 114: 93-103.
- EATON, F.M. 1935. Boron in soils and irrigation waters and its effect on plants with particular reference to the San Joaquin Valley of California. US Dept. of Agric. Tech. Bul. 448. 131 pp. illus.
- EATON, F.M. 1950. Significance of carbonates in irrigation waters. *Soil Sci.* 69: 123-133.
- EHLING, C.F. AND L. BERNSTEIN. 1959. Foliar absorption of sodium and chloride as a factor in sprinkler irrigation. *Amer. Soc. Hort. Sci.* 74: 661-670.
- FELHENDLER, R., I. SHAINBERG AND H. FRENKEL. 1974. Dispersion and hydraulic conductivity of soils in mixed solution. *Int. Congr. Soil Sci. Trans.* 10th Moscow 1: 103-112.
- FRENKEL, H., J.O. GOERTZEN AND J.D. RHOADES. 1978a. Effects of clay type and content, exchangeable sodium percentage, and electrolyte concentration on clay dispersion and soil hydraulic conductivity. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 42: 32-39.
- FRENKEL, H., A. HADAS AND W.A. JURY. 1978b. The effect of salt precipitation and high sodium concentrations on soil hydraulic conductivity and water retention. *Water Resour. Res.* 14: 217-221.
- FUKUMURA, K. AND S. MIYAMOTO. 1988. Water quality effects on permeability and structure of surface-irrigated Torrifluvents: I. Column studies. *Agron. Abst.* p. 198. ASA Annual Meeting Anaheim, CA. Nov. 27-Dec. 2.
- GAPON, E.N. 1933. Theory of exchange adsorption in soils. *Zhur. Obshch. Khim. (Jour. Gen. Chem.)* 3: 144-152, illus.
- HEALD, W.R., C.D. MOODIE AND R.W. LEAMER. 1950. Leaching and pre-emergence irrigation for sugar beets on saline soils. *Wash. Agr. Exp. Sta. Bul.* 519. 16 pp. illus.
- HILGARD, E.W. 1889. The rise of the alkali in the San Joaquin Valley. *Univ. of Calif. Expt. Sta. Bul.* 83.
- HILGARD, E.W. 1906. Soils, their formation, properties, composition, and relations to climate and plant growth. 593 pp. illus. New York and London.
- HOFFMAN, G.J. 1980. Guidelines for reclamation of salt-affected soils. In: *Proc. 2nd Inter-Am. Conf. on Salinity and Water Manage.* Juarez, Mexico. Dec. 1980. G.A. O'Connor (Ed.).
- KELLEY, W.P. 1922. Variability of alkali soil. *Soil Sci.* 14: 177-189.
- KELLEY, W.P. AND S.M. BROWN. 1925. Base exchange in relation to alkali soils. *Soil Sci.* 20: 477-495.
- KELLEY, W.P. AND S.M. BROWN. 1928. Boron in the soils and irrigation water of Southern California and its relation to citrus and walnut culture. *Hilgardia* 3: 445-458.
- KELLEY, W.P. AND S.M. BROWN. 1934. Principles governing the reclamation of alkali soils. *Hilgardia* 8: 149-177, illus.
- KELLEY, W.P., W.H. DORE AND S.M. BROWN. 1931. The nature of the base-exchange material of bentonites, soils, and zeolites as revealing by chemical investigation and x-ray analysis. *Soil Sci.* 31: 25-55.
- KEREN, R. AND I. SHAINBERG. 1981. Effect of dissolution rate on the efficiency of industrial and mined gypsum in improving infiltration of a sodic soil. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 45: 103-107.
- KRISHNAMOORTHY, C. AND R. OVERSTREET. 1950. An experimental evaluation of ion-exchange relationships. *Soil Sci.* 69: 41-53.
- LONGENECKER, D.E., E.L. THAXTON, J.J. HEFNER AND P.J. LYERLY. 1970. Variable row spacing of irrigated cotton. *Texas Agric. Exp. Sta. Tech. Bul.* 1102.
- LUTHIN, J.N. 1950. Proposed method of leaching tile-drained land. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* 15: 63-68.
- LYLE, W.M. AND J.P. BORDOVSKY. 1983. LEPA irrigation system evaluation. *Transactions of ASAE* 26: 776-781.
- MAAS, E.V., S.R. GRATTAN AND G. OGATA. 1982. Foliar salt accumulation and injury in crops sprinkled with saline water. *Irrig. Sci.* 3: 157-168.
- MAAS, E.V. AND G.J. HOFFMAN. 1977. Crop salt tolerance-current assessment. *J. Irrig. and Drainage Div., Proc. of ASCE* 103: 115-134.
- MACKIE, W.W. 1907. Reclamation of white-ash lands affected with alkali at Fresno, California. US Dept. of Agric., Bureau of Soils. Bul. 42.
- MARTIN, W.P., G.S. TAYLOR, J.C. ENGIBOUS AND E. BURNETT. 1952. Soil and crop responses from field applications of soil conditioners. *Soil Sci.* 73: 455-471.
- MCGEORGE, W.T. AND R.A. GREEN. 1935. Oxidation of sulphur in Arizona soils and its effect on soil properties. *Ariz. Agr. Exp. Sta. Tech. Bul.* 59. pp. 297-325, illus.
- MCNEAL, B.L. 1968. Prediction of the effect of mixed-salt solutions on soil hydraulic conductivity. *Soil Sci. Am. Proc.* 32: 190-193.
- MCNEAL, B.L. AND N.T. COLEMAN. 1966. Effect of solution composition on soil hydraulic conductivity. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 30: 308-312.
- MCNEAL, B.L., W.A. NORVELL AND N.T. COLEMAN. 1966. Effects of solution composition on soil hydraulic conductivity and on the

- swelling of extracted soil clays. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 30: 313-317.
- MIYAMOTO, S. 1980. Effects of bicarbonates on sodium hazard of irrigation water; alternative formulation. *J. Soil Sci. Soc. Amer.* 44: 1079-1084.
- MIYAMOTO, S. AND I. CRUZ. 1986. Spatial variability of soil sampling for salinity and sodicity appraisal in surface-irrigated orchards. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 50: 1020-1026.
- MIYAMOTO, S. AND I. CRUZ. 1987. Spatial variability of soil salinity in furrow-irrigated torrifluvents. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 51: 1019-1026.
- MIYAMOTO, S., J. MAYA AND J. TRAM. 1977. Crop response to soil application of alkylation spent acid: I. Preliminary observation. *Tex. Agr. Exp. Sta. Prog. Rept.* 3473.
- MIYAMOTO, S., J. MOORE AND C. STICHLER. 1984. An overview of saline water irrigation in far West Texas. *Proc. of the Specialty Conf. Irrig. & Drainage Div., ASCE, Flagstaff, AZ July*, pp. 222-230.
- MIYAMOTO, S., K. PIELA AND J. PETTICREW. 1985. Salt effects on germination and seedling emergence of vegetable crops and guayule. *Irrig. Sci.* 6: 159-170.
- MIYAMOTO, S., K. PIELA AND J. PETTICREW. 1986. Seedling mortality of several crops induced by root, stem or leaf exposure to salts. *Irrig. Sci.* 7: 97-106.
- MIYAMOTO, S. AND J. RYAN. 1976. Sulfuric acid for the treatment of ammoniated irrigation water. II. Reducing calcium precipitation and sodium hazard. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 40: 305-310.
- MIYAMOTO, S., J. RYAN AND J.L. STROEHLEIN. 1975. Potentially beneficial uses of sulfuric acid in southwestern agriculture. *J. Environ. Qual.* 4: 431-437.
- MIYAMOTO, S. AND J.L. STROEHLEIN. 1986. Sulfuric acid effects on water infiltration and chemical properties of alkaline soils and water. *Trans. ASAE* 29: 1288-1296.
- MIYAMOTO S. AND A.W. WARRICK. 1974a. Salt displacement into drain tiles under ponded leaching. *Water Resour. Res.* 10: 275-278.
- MIYAMOTO, S. AND A.W. WARRICK. 1974b. Two-dimensional displacement into or from water-filled ditches. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 38: 723-727.
- MIZRAHI, Y., E. TALEISNIK AND V. KAGAN-ZUR. 1988. A saline irrigation regime for improving tomato fruit quality without reducing yields. *J. Am. Soc. Hort. Sci.* 113: 202-205.
- MOORE, J. AND J.M. MURPHY. 1979. Sprinkler irrigation with saline water. In: *Proc. Inter. Amer. Conf. on Salinity and Water Management Tech. S. Miyamoto (Ed.). Texas A&M Univ. Agr. Res. Ctr El Paso. Dec. 1979.*
- MUHAMMED, S., B.L. McNEAL, C.A. BOWER AND P.F. PRATT. 1969. Modification of the high-salt method for reclaiming sodic soils. *Soil Sci.* 108: 249-256.
- NAKAYAMA, F.S. 1975. Evaluation of the sodium-calcium exchange constants in chloride and sulfate soil systems by the associated and non-associated models. *Soil Sci.* 119: 405-410.
- NIELSEN, D.R. AND J.W. BIGGAR. 1961. Miscible displacement in soils: I. Experimental information. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 25: 1-5.
- NIELSEN, D.R. AND J.W. BIGGAR. 1962. Miscible displacement: Theoretical consideration. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 26: 216-221.
- OSTER, J.D. AND H. FRENKEL. 1980. The chemistry of the reclamation of sodic soils with gypsum and lime. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 44: 41-45.
- OSTER, J.D. AND F.W. SCHROER. 1979. Infiltration as influenced by irrigation water quality. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 43: 444-447.
- OSTER, J.D., L.S. WILLARDSON AND G.J. HOFFMAN. 1972. Sprinkling and ponding techniques for reclaiming saline soils. *Trans. ASAE* 15: 115-117.
- OVERSTREET, R., J.C. MARTIN AND H.M. KING. 1951. Gypsum, sulfur and sulfuric acid for reclaiming an alkali soil of the Fresno Series. *Hilgardia* 21: 113-127.
- QUIRK, J.P. AND R.K. SCHOFIELD. 1955. The effect of electrolyte concentration on soil permeability. *J. Soil Sci.* 6: 163-178.
- RAO, T.S., A.L. PAGE AND N.T. COLEMAN. 1968. The influence of ionic strength and ion-pair formation between alkali-earth metals and sulfate on Na-divalent cation exchange equilibria. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* 32: 639-643.
- RASMUSSEN, W.W. AND B.L. McNEAL. 1973. Predicting optimum depth of profile modification by deep plowing for improving saline-sodic soils. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 37: 432-437.
- REEVE, R.C., L.E. ALLISON AND D.F. PETERSON, Jr. 1948. Reclamation of saline alkali soils by leaching - Delta area, Utah. *Utah Agr. Expt. Sta. Bul.* 335, 52 pp. illus.
- REEVE, R.C. AND C.A. BOWER. 1960. Use of high salt waters as a flocculent and source of divalent cations for reclaiming sodic soils. *Soil Sci.* 90: 139-144.
- REEVE, R.C. AND E.J. DOERING. 1966. The high-salt-water dilution method for reclaiming sodic soils. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 30: 498-504.
- REEVE, R.C., A.F. PILLSBURY AND L.V. WILCOX. 1955. Reclamation of a saline and high boron soil in the Coachella Valley of California. *Hilgardia* 24: 69-91.
- RHOADES, J.D. 1968. Mineral-weathering correction for estimating the sodium hazard of irrigation waters. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 32: 648-652.
- RHOADES, J.D. 1974. Drainage for salinity control. In: *Drainage for agriculture. Schilf-garde. (Ed.). Agronomy No. 17, ASA, Madison, Wisconsin.*
- RUSSO, D. 1984. Spatial variability considerations in salinity management. In: *Soil salinity under irrigation. Shainberg, I. and J. Shalhevet (Eds). Springer Verlag. pp. 198-219.*
- RUSSO, D. AND E. BRESLER. 1981. Effect of field variability in soil hydraulic properties on unsaturated water and salt flows. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 45: 675-681.
- SAMPSON, A.W. 1939. Plant indicators - concept and status. *Bot. Rev.* 5: 155-206, illus.

- SCOFIELD, C.S. 1936. The salinity of irrigation water. *Smithsn. Inst. Ann. Rpt 1935*: 275-287, illus.
- SCOFIELD, C.S. AND F.B. HEADLEY. 1921. Quality of irrigation water in relation to land reclamation. *J. of Agric. Res.* 21: 265-278.
- SHAINBERG, I., R. KEREN AND H. FRENKEL. 1982. Response of sodic soils to gypsum and calcium chloride application. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 46: 113-117.
- SHAINBERG, I., J.D. OSTER AND J.D. WOOD. 1980. Sodium/calcium exchange in montmorillonite and illite suspensions. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 44: 960-964.
- SHAINBERG, I., J.D. RHOADES AND R.J. PRATHER. 1981. Effect of low electrolyte concentration on clay dispersion and hydraulic conductivity of sodic soil. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 45: 273-277.
- SHALHEVET, J. AND L. BERNSTEIN. 1968. Effects of vertically heterogeneous soil salinity on plant growth and water uptake. *Soil Sci.* 106: 85-93.
- SPOSITO, G. 1977. The Gapon and Vanselow selectivity coefficients. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 41: 1205-1206.
- STABLER, H. 1911. Some stream waters of the western United States. *US Geol. Survey. Water Supply Paper*, 274.
- STEWART, E.H., R.R. ALBERTS AND P.G. ORTH. 1976. Water and salinity relationships in Perrine marl soils of south Florida. *Soil and Crop Soc. Florida.* 36: 89-93.
- SUAREZ, D.L. 1981. Relation between pHc and sodium adsorption ratio (SAR) and an alternative method of estimating SAR of soil or drainage waters. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 45: 469-475.
- TALSMA, T. 1967. Leaching of tile-drained saline soils. *Aust. J. Soil Res.* 5: 37-46.
- TANJI, K.K., L.D. DONEEN, G.V. FERRY AND R.S. AYERS. 1972. Computer simulation analysis on reclamation of salt-affected soils in San Joaquin Valley, California. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 36: 127-133.
- TERKELTOUB, R.W. AND K.L. BABCOCK. 1971. Calculation of the leaching required to reduce the salinity of a particular soil depth beneath a specific value. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 35: 411-413.
- US SALINITY LABORATORY STAFF. 1954. Diagnosis and improvement of saline and alkali soils. *US Dept. of Agr. Handbook* 60.
- VANSELOW, A.P. 1932. Equilibria of the base-exchange reactions of bentonites, permutites, soil colloids and zeolites. *Soil Sci.* 33: 95-113.
- WADLEIGH, C.H. AND M. FIREMAN. 1949. Salt distribution under furrow and basin irrigated cotton and its effect on water removal. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* (1948) 13: 527-530, illus.
- WHITNEY, N. AND T.H. MEANS. 1897. An electrical method of determining the soluble salt content of soils. *US Dept. of Agric., Div. Soils Bul.* 8. 30 pp., illus.
- WIDTSON, J.A. 1920. The principles of irrigation practices. The MacMillan Company, New York.
- WILCOX, L.V. 1948. The quality of water for irrigation use. *US Dept. Agr. Tech. Bul.* 962. 40 pp., illus.
- WILDMAN, W., W.L. PEACOCK, A.M. WILDMAN, G.G. GOBLE, J.E. PEHRSON AND N.V. O'CONNELL. 1988. Soluble calcium compounds may aid low-volume water application. *Calif. Agr. Nov-Dec 1988*: 7-9.



## PRESENT AND FUTURE IMPORTANCE OF SOIL MICROBIOLOGY IN CROP PRODUCTION

### Importancia Presente y Futura de la Microbiología de Suelos en la Producción Agrícola

W.C. Lindemann

Department of Agronomy and Horticulture, New Mexico State University, Las Cruces, New Mexico, 88003, USA

#### RESUMEN

Los microorganismos del suelo influyen la productividad de los cultivos, principalmente por su efecto sobre la disponibilidad de los nutrientes y las enfermedades que provocan. Ambas influencias pueden ser perjudiciales para el crecimiento de las plantas, dependiendo del tipo de microorganismos y su medio ambiente. La introducción de microorganismos benéficos en el medio ambiente edáfico se complica por la baja habilidad de competencia de éstos con las poblaciones indígenas, lo cual se refleja en el escaso efecto que tienen los microorganismos introducidos en el crecimiento de la planta. A menos que este problema sea resuelto, el desarrollo de cepas y especies de calidad superior puede ser un esfuerzo en vano. La ingeniería genética y la biología molecular pueden ayudar a explicar los problemas de competencia y a desarrollar mejores cepas de microorganismos que las que actualmente se reconocen como benéficos y las que se descubran como tales. Se conoce mucho más acerca de los beneficios de estos microorganismos que lo que se aplica en el campo. El uso del conocimiento actual sobre fijación de nitrógeno, micorriza e interacciones microbio-planta con respecto a disponibilidad de nutrientes y patología vegetal es suficiente como para aumentar la productividad. Más investigación debería enfocarse en las áreas de la fijación de nitrógeno, de los microorganismos antagonistas de los patógenos vegetales, de las interacciones que ocurren en la rizósfera y en las modificaciones necesarias en las plantas para fomentar el efecto benéfico de los microorganismos y desalentar el de los no benéficos.

#### SUMMARY

Soil microorganisms influence crop productivity principally by their effects on nutrient availability and plant diseases. These influences can be both detrimental to plant growth, depending on the type of microorganism and its environment. The introduction of plant beneficial microorganisms into the soil environment is complicated by poor competition of introduced species or strains with the indigenous populations, often resulting in failure of the microorganism to have an effect on plant growth. Unless this problem is overcome, development of superior strains and species of beneficial soil microorganisms may be in vain. Developments in genetic engineering and molecular biology may help to explain the competition problem and develop better strains of existing beneficials and new beneficials. Much more is known about the benefits of soil microorganisms than is applied in the field. The application of current knowledge about nitrogen fixation, mycorrhizae, and microbe-plant interactions with respect to nutrient availability and plant pathology should increase crop productivity. Additional research focused in the areas of nitrogen fixation, microorganisms antagonistic toward plant pathogens, rhizosphere interactions, and modification of plants to encourage beneficial microorganisms and discourage detrimental microorganisms has the potential to further increase crop productivity.

#### INTRODUCTION

Soil microorganisms can be both beneficial and detrimental to plants. They affect plant growth by their symbiotic relationships with plants and their influence in the rhizosphere. Simply using current knowledge could increase crop productivity without further research expenditures. Thus education and technology transfer are lagging behind research

Keynote Speech presented at the 21st National Congress of the Soil Science Society of Mexico (Nov. 8-12, 1988, Ciudad Juarez, Chih., Mex.).

findings, and scientists should strive to do a better job at applying current knowledge to increase productivity. Additional research into microbe-plant-soil interactions has the potential to further increase productivity.

In this lecture I want to highlight the problems we must address in order to more effectively use soil microorganisms to our advantage, the present role that soil microorganisms play in crop production, and how that role may be expanded.

#### PROBLEMS WITH THE INTRODUCTION OF BENEFICIAL MICROORGANISMS INTO THE SOIL ENVIRONMENT

Two problems that must be addressed if we are to increase crop productivity through more careful management of soil microorganisms, relate to the introduction of beneficial microorganisms into the soil-plant environment. These problems include: (1) competition between introduced and indigenous microorganisms, and (2) public concern on the release of microorganisms into the environment.

##### Competition between Introduced and Indigenous Microorganisms

Throughout this paper I will mention the development of new and better strains or species of plant beneficial microorganisms that could be added (inoculated) into the soil-plant environment. However, the identification or development of these organisms usually does not result in improved plant growth in the field. The major failure of these superior microorganisms is a result of their inability to survive and compete in the soil or rhizosphere environment. Three examples help illustrate this problem:

The first example is a problem that has confounded soybean producers in the Midwest. Soybeans are usually not fertilized with N because soybeans can fix most of the N they need. However, the predominant soybean rhizobia in the Midwest is serogroup 123 which is not a particularly good N fixing strain. Other strains have been shown to be superior N fixers. Unfortunately, inoculation with these superior strains into soils containing the inferior 123 strain has been futile. Thus little hope exists to increase N fixation by only adding a better strain.

The second example is the use of mycorrhizal inoculants in the nursery industry. Superior species of fungi are known that form more effective symbiotic relationships with coniferous trees than indigenous fungi. However indigenous species are often first to establish the symbiosis even when the superior species are inoculated into sterilized field nurseries. Thus many of the seedlings transplanted during reforestation have less desirable mycorrhizae.

A third example is the use of superior nutrient solubilizers in the rhizosphere. *Bacillus megaterium* var. *phosphaticum* is well known for its ability to solubilize P from P minerals. This bacterium has been inoculated onto seeds with the intention to increase plant available P, particularly in alkaline-calcareous soils. In most field trials, no

increase in P absorption has been realized by inoculated plants. The bacterium fails to establish itself in the rhizosphere.

Other examples could be cited. However, the point I want to emphasize is that regardless of whether the microorganism was isolated from the natural environment or was genetically engineered, the superior microorganism could not compete in the field environment to affect plant growth. Research should focus on the problem of microbial competition in soils.

##### Public Concern on the Release of Microorganisms into the Environment

This problem deals with public concern upon the release of genetically engineered, foreign, and modified microorganisms into the environment and is not limited to agriculture. The public is becoming less trustful of the scientific community and the agricultural community in particular, especially with respect to environmental and pollution issues. Some of these concerns are justified, while some of these concerns are hysterical reactions to press releases, incorrect information, and ignorance.

The most emotional reaction is to the release of genetically engineered microorganisms, and the most celebrated case is the spraying of a genetically engineered strain of *Pseudomonas* onto strawberries in California. Whether justified or not, the reaction of a few and then the public in general was close to hysteria. The press release photograph would leave a viewer with the impression that the organism released was a danger to humanity. In fact, the genetically engineered *Pseudomonas* contained one of the most benign genetic changes, a gene deletion.

Precautions are necessary. Regulations and laws must be passed to assure the protection of the public and the environment. However the public must be made aware of the truth and not frightened by stories of how genetically engineered microorganisms will eat their house. The public must be convinced that the use of microorganisms in agriculture will be beneficial, safe, and unlike the scenarios presented in science fiction novels. New regulations and laws must be based on fact and not emotion.

#### SYMBIOTIC RELATIONSHIPS PRESENT, FUTURE, PROBLEMS

Symbiotic relationships between soil microorganisms and plants have been recognized for over 100 years. Two of the most agriculturally important symbiotic relationships include the legume-*Rhizobium* symbiosis responsible for N fixation and mycorrhizae responsible for increased nutrient uptake and disease resistance by plants.

##### Nitrogen Fixation

• The benefits of legume N fixation are well known. Increased N fixation could increase

yields and quality of legume crops and conserve N for nonlegume crops. Four major points need to be addressed.

Current knowledge on N fixation is not fully utilized. The data base on legume N fixation is large and rich with examples of how to increase N fixation and conserve fertilizer N. Better education and technology transfer is needed. For example, in New Mexico, approximately 5,000 ha of peanuts are grown and fertilized with approximately 150 kg N/ha. In the rest of the US, little or no fertilizer N is applied to peanuts. In Ascension and Nuevo Casas Grandes, Chihuahua, many of the soybean farmers use 100 - 200 kg N/ha for soybeans, yet in the major soybean producing areas of the world, little or no N fertilizer is used. Both peanuts and soybeans fix most of their N needs. In both instances, money saved on N fertilizer could be better used to purchase other crop inputs including P and micronutrient fertilizers. Better training of students on the management of N fixation and the use of Rhizobium inoculants is the solution in this instance.

If yield and quality of efficient N fixing legumes are to increase, N fixation in these crops must also increase. Legumes such as soybeans, peanuts, and alfalfa are known to fix sufficient N for their needs. Increased N fixation must be part of the improvement strategy along with disease resistance, drought tolerance, etc. I fail to see this approach in many of our efforts to increase yield and quality of legumes. N fixation scientists must be part of the effort. If we fail, efficient N fixing legumes may become inefficient and dependent on N fertilizer for higher yields.

N fixation efficiency must be increased in legumes such as beans and peas which are poor N fixers. Maximum economic yield for beans in the US and Mexico requires 40 - 60 kg N/ha. If beans could be made as efficient at N fixation as alfalfa, the savings in N fertilizer costs could be used for other crop inputs. The major research challenge is to identify those plant and Rhizobium factors that result in poor bean N fixation.

The transfer of the nodulation and N fixation process to nonlegumes such as corn, wheat, and rice should be the long-term goal of agriculturalists. Some believe this goal to be impossible, others believe this goal can be achieved easily when genetic engineering becomes routine. Most agree it is too early to know if this goal can be accomplished, but research must continue in this direction.

I conclude from these four points that crop productivity can be increased through better training of students and increased research in N fixation. Legume productivity could be increased because of the direct increase in N fixation. Both legume and non-legume productivity could be increased because farmers could put their resources into other inputs instead of N fertilizer. The most limiting nutrient to crop production will become less limiting in the future with both basic and applied research in N fixation.

#### Mycorrhizae

The benefits of the mycorrhizal symbiosis were described by Frank in 1885. We have made only minor progress in understanding or exploiting this symbiosis in agriculture in 100 years. The isolation, ecology, efficiency, infectivity, etc. of these fungi have been little studied. Yet about 90% of all land plant species are mycorrhizal.

Most coniferous trees and many deciduous trees have ectomycorrhizae. Scientists and producers in the nursery industry have taken more advantage of the ectomycorrhizal symbiosis than agronomists and horticulturalists. Trees grown for reforestation can be inoculated with ectomycorrhizal fungi for about 1 cent each, and the benefits in terms of plant survival and plant growth are well documented. However, of over 2 billion reforestation tree seedlings planted annually by private companies and public agencies in the US, only a few million are inoculated with ectomycorrhizal fungi. Similarly, citrus seedlings in nurseries often require inoculation with endomycorrhizal fungi to assure adequate plant nutrition and disease resistance once they are transplanted to the producing orchard. As with the forestry industry, little effort is made to assure the symbiotic relationship is well established unless a major problem occurs.

Tree crop productivity could be increased immediately with better training of forest and citrus nursery operators. Results from applied and basic research on improved inoculation techniques and better species or strains will yield immediate results.

All common crops are endomycorrhizal. However, application of large amounts of fertilizer, pesticide use, and other management techniques produces yields more inexpensively than does the application of endomycorrhizae. In fact, endomycorrhizal inoculants are not available for agronomic or horticultural crops and probably won't be commonly available for many years.

Considerable research is needed before agriculturalists will fully exploit the endomycorrhizal symbiosis to improve crop productivity. Basic research should be the priority. The potential to increase plant productivity will be primarily on poor and infertile soil types that are too acid, too salty, too disease prone, or too dry for maximum productivity. Results from both basic and applied research will not be as dramatic as with N fixation and may be realized only on poor soils.

Finally, in our haste to improve productivity, we must not breed out the ability to form mycorrhizae or manage crops to discourage mycorrhizal development. Although current technology may not be able to improve on the mycorrhizal symbiosis, the natural ability to form the symbiosis could be inadvertently lost in our productivity improvement strategies.

### RHIZOSPHERE INTERACTIONS PRESENT, FUTURE, PROBLEMS

The rhizosphere is that portion of the soil immediately under the influence of the plant root. All water, nutrients, and pathogens must pass through the rhizosphere in order to enter the root. Both numbers and types of microorganisms in the rhizosphere can be greatly increased or decreased, depending on the nature of the microorganism and the nature of the plant.

Soil microbiologists and other agriculturalists have known about and taught these interactions for decades. However, soil microbiologists have not intensively investigated many of these interactions. They have limited their research to adding a potentially beneficial microorganism and looking for a plant response without investigating why or how the microorganism affected or did not affect plant growth. Plant breeders and other plant scientists have ignored the importance of soil microorganisms. Yet many of the breeding successes have been the result of microbial changes in the rhizosphere as the result of modified plant root exudates.

These attitudes and approaches to research are changing. Within the last ten years considerably more emphasis has been placed on the interactions of plants and microorganisms in the rhizosphere. Soil microorganisms can influence plant growth by affecting nutrient availability, soil-born plant pathogens, and hormonal interactions within the plant.

#### Nutrient Availability

Soil microorganisms directly or indirectly influence the availability of plant nutrients primarily through mineralization and immobilization, solubilization, oxidation, reduction, and chelation.

Mineralization-immobilization reactions involve the metabolism of nutrients by microorganisms that make these nutrients more or less available to plants. All nutrients are mineralized and immobilized by soil microorganisms during their cycling in soil. However, these reactions become critical to plant growth when soil microorganisms actively compete for nutrients with plants. N and P mineralization and immobilization reactions have been well documented in the field, and recently Fe immobilization has been shown to reduce Fe availability to plants in New Mexico. N immobilization can be directly blamed on loss of crop productivity. Better training of agriculturalists can help prevent nutrient immobilization reactions from reducing crop productivity. Research should focus on plants that encourage mineralizers and discourage immobilizers in their rhizospheres.

A good example of how research could increase productivity and conserve N fertilizer concerns the process of denitrification, which is a type of immobilization reaction. Denitrifying bacteria proliferate more in the rhizosphere than other soil bacteria. If soil microbiologists could identify the most common denitrifiers in the rhizosphere and plant breeders could breed plants that would dis-

courage these bacteria, N fertilizer savings would be substantial and yields could increase.

Soil microorganisms solubilize nutrients from nutrient containing rocks, minerals, and precipitates in soils. The best examples include the solubilization of P and K from their respective minerals. Plant inoculation with microorganisms having superior abilities to solubilize nutrients and the breeding of plants that would encourage these microorganisms in their rhizosphere, could increase plant growth. Both P and K inoculants were once sold but are no longer available because of a lack of demonstrated yield advantage. Researchers did not exploit the potential of these microorganisms.

Soil microorganisms can influence the availability of plant nutrients by their effects on the oxidation status of nutrients. Strategies to increase Fe and Mn availability in alkaline-calcareous soils could take advantage of the ability of microorganisms to reduce these micronutrients. Thus plants that would encourage Fe and Mn reducers or discourage Fe and Mn oxidizers should be bred. A good example of how breeding has affected Mn availability is with oats. Oat varieties that encourage Mn oxidizers in the rhizosphere are Mn deficient, while oat varieties that discourage Mn oxidizers are Mn sufficient. In cotton, malic acid excretion encourages microorganisms to reduce manganic oxide to manganous ion and ferric hydroxide to ferrous ion, resulting in more available Fe and Mn.

Soil microorganisms can also chelate micronutrients and make them more available to plants. Microbial produced chelates are known to aid in plant absorption of Fe, Zn, and Cu. Recent research has shown that siderophores (a type of chelate) produced by certain soil bacteria and fungi can chelate Fe and the Fe-siderophore can be absorbed by plants. Many *Pseudomonas* species have this ability. Recent research has shown that inoculation with *Pseudomonas* onto plants that encourage *Pseudomonas* in the rhizosphere can increase Fe absorption and eliminate or lessen Fe deficiency. Other siderophore producing bacteria can take all free Fe from solution and therefore reduce the incidence of soil-born fungal pathogens which require high amounts of Fe.

#### Soil-born Plant Pathogens

The understanding and exploitation of the interactions between beneficial soil microorganisms and soil-born plant pathogens could greatly increase crop productivity. Short of soil fumigation, few effective chemicals are available to effectively combat soil-born plant pathogens such as *Phytophthora*, *Fusarium*, *Rhizotonia*, and parasitic nematodes. Crop management is often ineffective once a pathogen is established or a long-term crop rotation system is not feasible. Plant breeding has been effective in many instances, but progress is becoming slower. Different strategies are needed.

The rhizosphere is known to attract soil pathogens, encourage germination of pathogenic fungal spores, and encourage hatching of nematode eggs. Understanding how and what

exudates attract microorganisms could greatly reduce the incidence of plant disease. For example, the resistance of some varieties of chile to Fusarium oxysporum appears to be related to spore germination of the pathogen. Exudates from varieties resistant to Fusarium discourage spore germination while exudates from sensitive varieties encourage spore germination. More research is needed to identify the chemical nature of these exudates. Breeding for Fusarium resistance could then proceed faster and in a more logical manner.

Soil microorganisms can be antagonistic toward plant pathogens and can be used to control pathogens. For example, pink root of onion is caused by Pyrenochaeta terrestris. Chemical control and crop management have little effect on the pathogen. Once established in soil, the pathogen is a permanent resident. Varieties that are known to have some resistance to pink root stimulate fungi that are antagonistic to the pathogen. Another example is verticillium wilt (Verticillium dahliae) on chile. Talaromyces flavus is known to be a potent antagonist of Verticillium, but its establishment and growth in soil is difficult. Research is needed to determine how root exudation affects the attraction of antagonistic microorganisms, what is the nature of the root exudates, and breed plants which discourage pathogens and encourage pathogen antagonists.

#### Hormonal Interactions

Soil microorganisms and plants are known to interact by the chemical messages or hormones they exude. Some of these interactions have been well documented such as the legume-Rhizobium recognition sequences involving indole acetic acid and lectins. Other interactions have only been observations and no research has followed on the importance of the interaction. For example, Agrobacterium rhizogenes promotes root production in plants. Research is needed to understand the response of plants to hormones released by Agrobacterium rhizogenes and other rhizosphere microorganisms. Commercial companies are on the verge of selling bacterial inoculants that encourage quicker germination and seedling establishment through the release of microbially produced hormones. However, many experiments are designed to measure only the response of a plant to a hormone producing microorganism as was done with the mineral solubilizing bacteria. More basic research is needed to better understand these hormonal responses.

As shown by many of the previous examples, the plant has considerable control over the types of microorganisms developing in the rhizosphere. Better cooperation between scientific disciplines will be critical in order to not only understand but to manipulate the rhizosphere. Exudates that encourage beneficial and discourage detrimental microorganisms must be identified and quantified in the rhizosphere. Breeders and genetic engineers must incorporate that knowledge into new varieties.

#### CONCLUSIONS

Soil microbiology has contributed significantly to crop productivity in the past, but has the potential to contribute more in the future. Yield increases by simply adding more fertilizer and pesticides will become more costly and less environmentally acceptable. Productivity is plateauing in many crops using current strategies of inputs and management. A better understanding of soil microorganisms and how they affect plant growth will increase yields, reduce inputs, and aid plant breeders in breeding superior varieties.

However, the problems of microbial competition and public concern on the release of microorganisms into the environment must be overcome. If these problems are not solved, then the contribution of soil microbiologists to increased crop productivity will be diminished.

Agriculturalists are not using all the knowledge available to them. Better education is necessary for producers, managers, and scientists on the role of soil microorganisms in crop production.

Future productivity increases attributed to soil microbiologists will come from collaborative efforts with breeders, geneticists, and physiologists. Controlling the rhizosphere to the best advantage of the plant will be the key. New or improved microorganisms will be introduced and encouraged to develop in the rhizosphere of a plant that discriminates between beneficial and detrimental rhizosphere inhabitants.

## SOIL AS A WASTE DISPOSAL MEDIA

### El Suelo como un Medio Receptor de Desechos

G.A. O' Connor

Department of Agronomy and Horticulture, New Mexico State University, Las Cruces, New Mexico, 88003, USA

#### RESUMEN

El suelo ha demostrado su habilidad para aceptar y asimilar toda clase de desechos. Muchas de las propiedades que hacen un suelo excelente para el crecimiento de las plantas (desarrollo de carga, área superficial extensiva, población microbiana dinámica, capacidad amortiguadora del pH) también lo hacen excelente para aceptar desechos.

Por esta razón, los desechos no necesitan, o mejor dicho no deberían, ser concentrados en sitios específicos de almacenamiento, donde se incrementan las oportunidades para que se produzca un movimiento de las sustancias contaminantes que contienen. Una alternativa al manejo anterior es su aplicación en dosis bajas a sistemas suelo-planta, donde la capacidad de asimilación del propio sistema permite resolver el problema de los contaminantes.

Cuando la aplicación de desechos al suelo se maneja responsablemente, los lodos residuales del drenaje, los ácidos concentrados y los materiales derivados del petróleo no provocan problemas que amenacen la seguridad. La clave del asunto consiste en hacer coincidir las características del residuo y la carga de aplicación con la capacidad de asimilación del suelo. Si esto se logra, una gran proporción de los metales pesados es retenida en forma no disponible, y los compuestos orgánicos son degradados o fuertemente retenidos. De esta manera se minimiza la toxicidad y la contaminación de los cuerpos de agua subterráneos.

#### SUMMARY

Soil has demonstrated its ability to accept and assimilate all kinds of wastes. Many of the same properties (especially charge development, extensive surface area, a dynamic microbial population, and pH buffering) that make soils excellent media for plant growth make soils excellent media for waste disposal.

Thus, wastes need not be, indeed often should not be, concentrated in landfills where the opportunity for pollutant movement can be enhanced. They should be applied at low rates to soil-plant systems where the assimilative capacity of natural systems can work its magic.

When managed responsibly, land application of wastes as divergent as sewage sludge, concentrated acids, and petroleum materials may be safely applied to land. Matching waste characteristics and loading rates to the soils assimilative capacity is key. When this is accomplished heavy metals are retained in largely unavailable forms and organics are degraded or tightly held. Plant toxicities and groundwater pollution are thus minimized.

The modern soil scientist is still a steward of the land, but now serves society by maximizing soil productivity and by showing the best way to dispose of its wastes.

#### INTRODUCTION

Soil has served as a receptacle for man's waste for centuries. It has received nature's wastes, plants and animals, for eons. In both cases, the soil has performed amazingly well; acting as a gigantic biodigestion system that converts all kinds of materials into organic matter and nutrients to support plant life. The soil has done all of this and kept our groundwaters remarkably free of contaminants.

• Modern man, with his ever growing use of chemicals to support the quality of life

Keynote Speech presented at the 21st National Congress of the Soil Science Society of Mexico (Nov. 8-12, 1988, Ciudad Juarez, Chih., Mex.).

we expect, threatens to overpower the natural capacity of soils to assimilate wastes. The challenge for modern soil scientists is to demonstrate how to use the soil's natural properties to maximize agricultural productivity while protecting the environment, and how to use the inherent properties of soils for waste disposal. Recycling wastes to soil has been called the antithesis of pollution (Bohn and Cauthorn, 1972) because it maintains resources in desirable states and reduces the pollution inherent in developing new resources.

Many of the same properties that make soils excellent media for plant growth also serve to make them excellent media for waste disposal. My purpose here is to review some of those soil properties (and processes) and to demonstrate their role in effective waste management. Emphasis will be on waste management that can have important benefits to agriculture.

### Soil Properties

The main properties that distinguish soils from inert media and make them excellent media for plant growth are (1) charge, (2) extensive surface area, and (3) microbial activity (Bohn *et al.*, 1985). Inert material like gravel can be fertilized, aerated, and watered to support plant life, but the process is expensive, labor-intensive and limited to special situations with high value crops. Growing sufficient food to feed the world depends on the soil and its special properties.

(1) Charge. Various soil components can develop charge, both negative and positive. The components include clay minerals, soil organic matter, Fe and Al oxides, and allophane. Isomorphous substitution and dissociation of functional groups lead to the development of charge. Soil may develop negative and positive charge simultaneously, but most soils of agricultural importance have net negative charge yielding an ability to retain positively charged ions. This ability is well-known as a soil's cation exchange capacity (CEC). Soil CEC is primarily associated with clay minerals and OM and tends to increase with soil pH. Soils of our region are typically low in OM, but are dominated by high CEC clay minerals, eg. montmorillonite, and have high pH which tends to yield relatively high CECs.

Because of their charge, soils retain cationic essential nutrients against leaching. The reversibility of most common cation adsorption reactions means that essential cations will be released via exchange throughout the crop growing period. We can expect similar retention (retarded leaching to groundwater) for undesirable cations, eg.  $Cd^{2+}$ ,  $Ni^{2+}$ ,  $Cr^{3+}$ , etc.

(2) Surface area. Soils can have extensive surface area. One hectare of effective surface area can be represented by just a few grams soil. Surface area is primarily associated with the clay-sized fraction of soils. Expressed as specific surface, area/unit mass, the greatest values are associated with the expandable 2:1 layer silicates (montmorillonite) and organic

matter. Thus, the same soil components that develop most of the charge in soil also contribute most of its specific surface. The combination of properties makes these components very reactive. Large numbers of ions or molecules can be concentrated on the same surfaces, which favors all kinds of reactions. It is not surprising that clays are often used as catalysts in many industrial reactions (Laszlo, 1987). These same components can be expected to accumulate undesirable organic molecules for possible alteration.

(3) Microbial activity. Soils are living, dynamic systems containing billions of microorganisms in a single gram. A tremendous variety of bacteria, fungi, actinomycetes, nematodes and protozoa exist in a normal soil. These organisms demand air, water, food, and energy sources just like growing plants. Sometimes the microbes effectively out compete plants for essential growth factors, but they often are intimately involved in making the same factors available to plants. Microbial involvement in the cycling and plant availability of N, S, P, C, etc. is fundamental (Bohn *et al.*, 1985). Microbes also convert organic material from essentially unreactive non-humus into colloidal humus that is one of the soil's most reactive components. We might expect suitably encouraged microbes to attack and degrade undesirable organic materials applied to soils.

Another soil property of significance to agriculture and waste management is pH buffering. Resistance to pH change is characteristic of our normally calcareous soils. The inability to readily lower our high pHs can be frustrating because of associated micronutrient deficiencies, but also protects against widely fluctuating soil pHs and their effects on plants and microbes. Calcareous soils are especially well buffered, but all soils have some buffering capacity owing to their charge and extensive surface areas. Good soil pH buffering, especially at high values, should help control the solubility of certain undesirable ions and to protect against hazardous materials of very low or very high pH.

Soil, of course, is much more complex - has many more components and properties - than I have outlined above. The factors I highlighted, however, are fundamental to soils that are agriculturally productive and that are effective as waste disposal media. We can now consider some examples of how the factors function in prudent environmental management of wastes applied to soils.

### Sewage Sludge

Land application of sewage and of sludge (the material resulting from wastewater treatment plants) has been practised in many countries for centuries. Agricultural utilization benefits the municipality generating the sludge by providing an environmentally acceptable means of disposal. It benefits the farmer by providing a substitute or supplement for conventional fertilizers.

Research at New Mexico State University (NMSU) confirmed the nutritional value and

soil conditioning properties of sludge (McCaslin and O'Connor, 1982). Microbes released some essential macronutrients from the sludge, while unmineralized sludge released micronutrients to plants. Another major concern, however, was the hazard of sludge-borne heavy metals and toxic organics to the soil-plant system (O'Connor, 1988). In several greenhouse and field studies over 10y of experimentation, we were able to demonstrate the lack of unmanageable risks associated with sludge additions to NM soils.

Heavy metals (Cd, Ni, Pb, Cr) were either strongly and irreversibly adsorbed or precipitated as very insoluble salts in our soils (O'Connor, 1984). When sludge is added at reasonable (and even unreasonable) rates, trace levels of heavy metals are very strongly adsorbed to clay minerals and OM. The reaction is so highly energetic (adsorption so strong) as to be essentially irreversible. Other metals are precipitated as very insoluble salts in our high pH soils. Since pH is well-buffered, high pH is likely to remain and the metals are permanently removed from the soil solution. Heavy metals are largely unavailable to plants (no toxicities, no excessive metal levels in plants) and unavailable to leaching water. There is no threat for groundwater pollution.

Toxic organic compounds in the sludge (PCBs, DEHP) were very strongly bound on the extensive surfaces of soils, especially OM (O'Connor and Fairbanks, 1982). Microbes attacked some compounds (2, 4 DNP, PCP) and degraded them so fast that little or no compound was available for plant uptake or leaching (O'Connor, 1988).

When applied at reasonable rates (matching the soils assimilative capacity) sludge is a valuable agricultural commodity, solves a city's sludge disposal problem, and is environmentally safe.

#### Acid Wastes

Certain industrial wastes, eg. metal plating wastes, spent alkylation acid, and acid generated from smelting operations represent special opportunities and hazards for soils. The high pH of our calcareous soils often cause both micronutrient (Fe, Zn) and macronutrient (P) deficiencies. If soil pH can be lowered, the solubility of these elements increase and deficiencies can be corrected. Acid wastes have been shown to be effective in correcting deficiencies in our soils (McCaslin *et al.*, 1985). Applying too much acid, however, can overcome the buffer capacity of soils, severely reduce pH, reduce soil retention of toxic metals and increase the potential for groundwater pollution.

Various researchers in our region have shown that the key to environmentally and nutritionally sound management of acid is matching acid additions to soil characteristics (Nefae and O'Connor, 1978; Ryan and Stroelein, 1979; Khorsandi, 1988). Acid should be applied at rates that decrease soil pH enough to increase nutrient availability, but that do not exceed a soil's neutralizing capacity. The latter can be characterized by a soil's acid titrateable basicity (ATB) (Miyamoto *et*

*al.*, 1973). If acid additions are limited to 10-15% ATB for a given soil, nutrient availability increases while toxic metal availability and mobility is controlled. There is then little danger for heavy metal toxicity to plants or for groundwater pollution.

#### Petroleum Wastes

Land farming and land treatment are waste treatment technologies involving controlled soil applications of organic and inorganic wastes (Fuller and Warrick, 1985). The objective in both is to biodegrade the organic constituents in the waste and to immobilize the other waste constituents in an environmentally acceptable and cost effective manner. Land treatment usually involves growing a crop that can take advantage of mineralized nutrients from the waste. Land farming is dedicated land application of wastes, often at high loading rates and does not center on crop production. Both methods have been particularly effective in the treatment of petroleum wastes, including oils, sludges, drilling muds, etc. (API, 1983).

Soil has been shown to be a unique media capable of biodegrading and immobilizing significant quantities of oily materials. This occurs, provided that the types and amounts of waste are correctly matched to the soil. Research is critical to assessing a soil's assimilative capacity for a particular waste.

The important biodegradation reactions are conducted by soil microorganisms and depend on soil temperature, moisture, aeration, and fertility. Land farming involves intelligent manipulation of these variables to promote chemical breakdown. Several years of research under a variety of climatic conditions has shown the practise to successfully manage wastes with minimal risk to the environment (API, 1983; Ryan *et al.*, 1986). Failures are almost always associated with excessive waste loadings.

#### LITERATURE CITED

- API. 1983. Land treatment practices in the petroleum industry. Amer. Petro. Inst. Washington, D.C.
- BOHN, H.L. and R.C. CAUTHORN. 1972. Pollution: the problem of misplaced waste. Amer. Sci. 60: 561-565.
- BOHN, H.L., B.L. McNEAL and G.A. O'CONNOR. 1985. Soil chemistry. 2nd Ed. John Wiley & Sons. Inc. New York.
- FULLER, W.H. and A.W. WARRICK. 1985. Soils in waste treatment and utilization. Vols. 1 and 2. CRC Press Inc. Boca Raton, FL.
- KHORSANDI, F. 1988. Effects of sulfuric acid on P availability and P-fractionation in two calcareous soils. MS thesis NMSU. Las Cruces, NM.
- LASZLO, P. 1987. Chemical reactions on clays. Science 235: 1473-1477.



- MCCASLIN, B.D. and G.A. O'CONNOR. 1982. Potential fertilizer value of gamma-irradiated sewage sludge on calcareous soils. NM Agric. Exp. Sta. Bull. No. 692.
- MCCASLIN, B.D., A.S. SADLER and G.A. O'CONNOR. 1985. Application of spent sulfuric alkylation acid and sulfuric acid to two New Mexico soils. NM Agric. Exp. Sta. Bull. No. 714.
- MIYAMOTO, S., H.L. BOHN and J. RENTHAL. 1973. Determining the acid-titra table basicity of calcareous soils. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 37: 657-658.
- NEFAE, R. and G.A. O'CONNOR. 1978. Effects of sulfuric acid on ion availability in New Mexico soils. NM Agric. Exp. Sta. Res. Rpt No. 362.
- O'CONNOR, G.A. 1984. Trace metal sorption in sludge-amended soils. Proc. 1st. Int. Conf. Environ. Contamin. London.
- O'CONNOR, G.A. 1988. Plant availability of sludge-borne toxic organics. Proc. 3rd Int. Conf. Environ. Contamin. Venice.
- O'CONNOR, G.A. and B.C. FAIRBANKS. 1982. Fate of toxic organics in sludge-amended soils. Proc. National Conf. Composting Munic. and Industrial Sludge. pp 6-14.
- RYAN, J.R., M.L. HANSON and R.C. LOEHR. 1986. Land treatment practices in the petroleum industry. p 319-346. In: R.C. Loehr and J.F. Malina Jr. (Eds). Land treatment a hazardous waste management alternative. Water Resources Symp. No. 13. Center for Research in Water Resources. Univ. Texas. Austin.
- RYAN, J. and J.L. STROELEIN. 1979. Sulfuric acid treatment of calcareous soils: effects on phosphorus solubility, inorganic phosphorous forms and plant growth. Soil Sci. Soc. Amer. J. 43: 731-735.

## INDICE DE AUTORES

## AUTHOR INDEX

- Acosta S., R. 52  
Alcántar G., G. 19
- Castellanos, J.Z. 111  
Cruz H., L. 3
- Champigny, M.L. 19
- Díaz de León T., J.G. 69
- Etchevers B., J.D. 3, 10, 140
- Flores W., E.Z. 79
- García M., H.J. 79
- Lindemann, W.C. 161
- Mejía A., C. 69  
Mendoza-Gamboa, R. 46  
Mendoza R., J.L. 52  
Miyamoto, S. 151  
Muñoz, J.J. 111
- O'Connor, G.A. 166  
Oleschko, K. 3, 10
- Peña-Cabriales, J.J. 35, 46  
Pérez V., J.A. 79  
Pérez-Zamora, O. 26, 59, 92, 131  
Pimentel H., R. 79
- Reyes-Reyes, B.G. 35
- Tijerina Ch., L. 101, 117  
Toledo M., R. 140
- Ugalde V., R. 69
- Verástegui Ch., J. 86

REVISORES QUE HAN COLABORADO CON LA  
REVISTA TERRA DURANTE 1988.

- DR. LORENZO ACEVES NAVARRO, Montecillo  
 DR. RAFAEL ACOSTA HERNANDEZ, Montecillo  
 ING. ANTONIO G. AGUILAR NOH, Chapingo  
 DR. ANDRES AGUILAR SANTELISES, Chapingo  
 DR. GABRIEL ALCANTAR GONZALEZ, Montecillo  
 DR. HECTOR ARIAS ROJO, México, D.F.  
 DR. JORGE BAUS PICARD, Chapingo  
 DR. LUIS ANTONIO BOJORQUEZ TAPIA, Montecillo  
 ING. ADOLFO CAMPO C., Xalapa  
 M.C. JAVIER Z. CASTELLANOS, Celaya  
 M.C. PABLO M. CORAS MERINO, Chapingo  
 DR. JOSE I. CORTES FLORES, Montecillo  
 DR. JOSE LUIS CHAN CASTAÑEDA, Zacatecas  
 M.C. ALFREDO ECHEGARAY ALEMAN, Chapingo  
 M.C. SERGIO A. ENRIQUEZ REYES, Celaya  
 M.C. JUAN W. ESTRADA BERG W., Chapingo  
 DR. JORGE D. ETCHEVERS B., Montecillo  
 DR. RONALD FERRERA-CERRATO, Montecillo  
 M.C. WILLIAM GANDOY BERNASCONI, Chapingo  
 M.C. CLAUDIO GODOY AVILA, Torreón  
 M.C. ALBERTO GOMEZ-TAGLE ROJAS, Uruapan  
 M.C. GABRIEL HARO AGUILAR, Montecillo  
 QUIM. CLAUDIA MA. I. HIDALGO, Montecillo  
 M.C. MARCO A. INZUNZA IBARRA, Cd. Lerdo  
 DR. REGGIE J. LAIRD, Montecillo  
 DR. ROBERTO NUÑEZ ESCOBAR, Montecillo  
 M.C. ENRIQUE OJEDA TREJO, Montecillo  
 DR. VICTOR OLALDE PORTUGAL, Irapuato  
 DRA. KLAUDIA OLESCHKO, Montecillo  
 DR. MANUEL ORTEGA ESCOBAR, Montecillo  
 M.C. MIGUEL ORTIZ OLGUIN, Chapingo  
 M.C. CARLOS ORTIZ SOLORIO, Montecillo  
 DR. OSCAR L. PALACIOS VELEZ, Montecillo  
 M.C. DAVID JESUS PALMA LOPEZ, Cárdenas  
 M.C. LAUREANO PASTRANA APONTE, Huimanguillo  
 DR. OCTAVIO PEREZ ZAMORA, Colima  
 DR. RAUL PONCE HERNANDEZ, Montecillo  
 M.C. SILVIA GPE. RAMOS HERNANDEZ, México, D.F.  
 DR. LUIS RENDON PIMENTEL, Montecillo  
 M.C. JORGE RIVERA DIAZ, Chapingo  
 ING. FRANCISCO RODRIGUEZ NEAVE, Chapingo  
 ING. JORGE V. ROJO SOBERANEZ, Oaxaca  
 DR. FELICIANO RUIZ FIGUEROA, Chapingo  
 M.C. IGNACIO SANCHEZ COHEN, Cd. Lerdo  
 ING. JUAN FRANCISCO TAH IUIT, Chapingo  
 DR. LEONARDO TIJERINA CHAVEZ, Montecillo  
 DR. JUAN LUIS TIRADO TORRES, Montecillo  
 M.C. JORGE L. TOVAR SALINAS, Montecillo  
 DR. ANTONIO TRINIDAD SANTOS, Montecillo  
 M.C. CARLOS FERNANDO UREÑA CASTELLANO, Chapingo  
 DR. RIGOBERTO E. VAZQUEZ ALVARADO, San Nicolás  
 de los Garza  
 DR. HUGO ALEJO VELASCO MOLINA, Monterrey  
 M.C. ANTONIO VELAZQUEZ HERNANDEZ, Tlalnepantla  
 DR. JUAN VELAZQUEZ MENDOZA, Montecillo  
 M.C. MIGUEL ANGEL VERGARA SANCHEZ, Chapingo  
 M.C. MAGDALENA VILLA CASTORENA, Cd. Lerdo  
 DR. VICTOR VOLKE HALLER, Montecillo

# REVISTA TERRA

# NORMAS PARA PUBLICACION

## TIPO DE MANUSCRITO PARA PUBLICACION

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

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

Los Ensayos o Revisiones de Literatura son artículos basados en una recopilación de artículos científicos o de investigación existen-

tes, en que el autor aporta su opinión personal sobre el tema y establece conclusiones respecto del estado actual del conocimiento del tema.

**TERRA** publicará las Cartas al Editor con opiniones o comentarios debidamente argumentados, que reciba. Esta sección tiene por objeto fomentar la discusión sobre temas publicados en sus páginas o de interés para la comunidad científica nacional. La Reseña de Libros es una sección destinada a dar a conocer la obra, particularmente de autores mexicanos e iberoamericanos, que son de interés para los científicos del suelo.

La Revista **TERRA** acepta colaboraciones de todos los miembros de la Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo, así como de individuos que deseen publicar sus trabajos en ella, pero no tengan esta calidad. Los trabajos que se envíen deberán ceñirse a estas Normas para Publicación y estarán sujetos a revisión por el Comité Editorial o por quien éste designe, antes de su publicación.

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

Versión revisada 7-88.

## CONTENIDO DEL MANUSCRITO

Los Artículos Científicos y las Notas Científicas que se presentan deberán contar de las siguientes partes: (a) Título; (b) Autor(es); (c) Institución(es) responsable(s) del trabajo y dirección de los autores; (d) Resumen; (e) Palabras claves; (f) Summary; (g) Index words; (h) Introducción, que aparte de la motivación, importancia de los objetivos, deberá incluir aquellos aspectos más importantes, relativos del tema central, de la revisión de literatura; (i) Materiales y Métodos, donde se indique claramente el o los método(s) experimental(es) empleado(s) para dar respuesta a las hipótesis del trabajo; (j) Resultados y Discusión; (k) Conclusiones; y (l) Literatura Citada. El Comité Editorial podrá aceptar algunas modificaciones de esta estructura, cuando el tenor del texto así lo aconseje.

Los Ensayos o Revisiones de Literatura deberán constar de las siguientes partes: (a) Título; (b) Autor(es); (c) Institución donde se desarrolló el trabajo; (d) Resumen; (e) Palabras claves; (f) Summary; (g) Index words; (h) Introducción; (i) Desarrollo del tema, con los subtítulos que se estimen convenientes; (j) Discusión, donde fuere procedente; (k) Conclusiones; y (l) Literatura Citada.

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

## FORMATO DEL MANUSCRITO

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

### ESPECIFICACIONES PARA EL FORMATO

**Título.** El título se escribirá con mayúsculas, al inicio y al centro de la página. Se colocará también traducido al inglés, inmediatamente abajo del título en español. El título en inglés se escribirá con minúsculas, excepto las primeras letras de cada palabra, dos espacios sencillos abajo del anterior. El título deberá ser breve e indicar en forma precisa la naturaleza y contenido del artículo. Un título largo no es necesariamente el mejor. Así por ejemplo "Fijación de Fósforo en un Andosol de Colima" es mejor que "Determinación

de la Cantidad de Fósforo Fijado en los Horizontes A y B de un Perfil Alterado en un Suelo Andosol del Estado de Colima".

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

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

**Pie de páginas.** Se podrán utilizar, cuando sea necesario, para identificar información adicional; se numerarán correlativamente a través de todo el texto. Deberán emplearse al mínimo y sólo cuando sea imprescindible.

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

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

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

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

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

**Resumen.** Esta sección debe sintetizar, en no más de 250-300 palabras, los aspectos más importantes del trabajo, esto es, su motivación, importancia, método experimental (cuando corresponda) y las conclusiones más importantes. Se titula con un título de segundo orden.

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

**Summary.** Se siguen las mismas normas que para el Resumen en español. Esta sección es básica para darle difusión internacional a la revista. Se titula también con segundo orden.

**Index words.** Se seguirán las instrucciones dadas para Palabras claves, pero estas últimas se colocarán en inglés.

**Introducción.** En esta sección se indica la motivación, la importancia y los objetivos del trabajo que llevan implícito las hipótesis del trabajo. Contienen, además, los aspectos más relevantes del tema, tratados por otros autores e identificados en la Revisión de Literatura. La Introducción no debe exceder de tres cuartillas a doble espacio. Se titula con segundo orden.

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

**Resultados y Discusión.** Bajo este título se incluyen los resultados obtenidos en la investigación. Estos se presentarán en forma de Cuadros, Figuras, Fotografías, etc., y no deberán duplicar la información que se da en el texto. La información presentada en Cuadros y Figuras tampoco deberá duplicarse, así como incluir resultados que puedan ser fácilmente calculables. Ejemplo: presentar en una columna el rendimiento en g/m<sup>2</sup> y en otra en kg/ha. En la Discusión se harán resaltar los principios más importantes y las relaciones causa-efecto derivados del análisis de los resultados. Además, deberá explicar, en función de las observaciones hechas, el por qué de lo observado. Los resultados obtenidos se compararán con los de otros investigadores, señalando las divergencias y las semejanzas. Los Resultados y la Discusión deben tener los mismos subtítulos, si es que los hay, de la sección de Materiales y Métodos. Se titula con segundo orden.

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

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

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

(1) Caso de artículos en revistas seriadas; ejemplo:

NUÑEZ E., R., A. TRINIDAD S., J. J. MARTINEZ H. 1984. Efecto de estiércol de vacuno en la producción de maíz. *Agropecuaria Técnica* 54: 385-388.

Obsérvese que la inicial del nombre propio se ha trasladado al final de los apellidos sólo para el caso del primer autor, y que se ha mantenido la inicial del segundo apellido y del nombre propio en el lugar que corresponde en el resto de los casos. Es común que los nombres ingleses se escriban con dos nombres personales y un apellido; ejemplo: L. J. Brown, el cual se citará en caso de ser primer autor como Brown, L. J. y como L. J. Brown en todos los demás. Los portugueses y brasileños acostumbran colocar el apellido paterno en segundo lugar y éste es el que se debe citar; ejemplo: Antonio Amaro Filho, es Filho, A. A. o A. A. Filho según sea el primer autor o acompañante. Para el caso de los nombres árabes, orientales e hindúes se deberá consultar una guía para citas bibliográficas, como la del Council of Biological Editors o las normas del IICA para citas bibliográficas.

(2) Caso de artículos en una publicación colectiva no periódica con o sin editor; ejemplo:

(i) con editor

TURRENT F., A. 1984. Los agrosistemas del trópico, pp. 315-328. In: E. Hernández X. (ed). Los sistemas agrícolas de México. Colegio de Postgraduados, Chapingo, Méx.

(ii) sin editor

CORTES F., J. I. 1984. El manejo de los frutales en zonas frías, pp. 181-192. In: La fruta y su perspectiva en México. CONAFRUT, SARH, México, D. F.

(3) Caso de los boletines técnicos u otras publicaciones seriadas no periódicas; ejemplo:

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

(4) Caso de los libros; ejemplo:

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

ZAMUDIO H., B. 1970. Las especies latifoliadas del Cono Sur. 2a. Edición. Editorial Inca, Lima, Perú.

(5) Otras publicaciones; ejemplo:

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

La lista de citas se confeccionará en orden alfabético. Sólo se incluirá en ella los trabajos citados en el texto.

## OTROS ASPECTOS DEL MANUSCRITO

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

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

Los cuadros deben tener tres líneas horizontales sólidas: al inicio del cuadro, al inicio del campo del cuadro, y al final de éste. No se permitirá el uso de líneas verticales.

El encabezamiento del cuadro dará entrada a las columnas y a las líneas. Las unidades correspondientes a las columnas irán en el campo del cuadro, no en el encabezamiento. El campo y el encabezamiento de las columnas se pueden dividir a conveniencia del autor.

Los encabezamientos de columnas y líneas se describirán con minúsculas, excepto la primera letra de la primera palabra.

Se empleará sólo el número de cifras significativas necesarias para destacar el punto que se desea. No tiene sentido hablar de 4,314.3 kg de maíz, probablemente 4.3 ó 4.31 ton ha<sup>-1</sup>es suficiente.

Los cuadros no podrán ser mayores de una página tamaño carta, considerando los márgenes antes dichos.

Los mapas y las figuras deben dibujarse en tinta china sobre papel albanene o papel dibujo de buena calidad. No deben exceder las dimensiones de una página tamaño carta. La leyenda debe ser con letras y números de tamaño lo suficiente grande, como para que puedan leerse al ser reducidos, al igual que el grosor de los ejes y líneas interiores. Para un gráfico del tamaño de una página carta se requieren letras y números de 0.8 a 1.0 cm de altura. Recuerde que en una figura lo que interesa destacar es el contenido y no los ejes. Consecuentemente, el grosor de estos últimos tiene que ser menor que el de las líneas interiores. Los puntos experimentales deben marcarse visiblemente. Para dimensionar los ejes se deben escoger módulos constantes para cada uno.

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

Agradecimientos. Podrán incluirse cuando sea necesario al final del texto, esto es, después de las Conclusiones y antes de la Literatura Citada.

ENSAYOS

- H**istoria de la investigación en salinidad del suelo y calidad del agua de riego en Estados Unidos de América. **S. MIYAMOTO.** 151
- Importancia presente y futura de la microbiología de suelos en la producción agrícola. **W.C. LINDEMANN.** 161
- El suelo como un medio receptor de desechos. **G.A. O'CONNOR.** 166