



TERRA

Volumen 14

Julio - Septiembre de 1996

Número 3

DIVISION I

Caracterización de los suelos de la llanura costera
norte de Tecomán, Colima

OCTAVIO PEREZ ZAMORA 229

Variabilidad espacial de la conductividad eléctrica en
un suelo del este de Cuba. II. Análisis geoestadístico

ANGEL UTSET SUASTEGUI
MARIA ELENA RUIZ PEREZ
JULIAN HERRERA PUEBLA 241

La transpiración como un indicador fisiológico del
inicio de sequia en frijol

MARCO ANTONIO GUTIERREZ C.
ALFONSO LARQUE SAAVEDRA
CARLOS A. ORTIZ S. 251

Influencia de nutrimentos y factores topográficos en la
eficiencia de crecimiento y área foliar de abeto Douglas
en las cascadas centrales de Oregon, EUA

ALEJANDRO VELAZQUEZ MARTINEZ
DAVID A. PERRY 257

Salinity of the Río Grande: Trend and management
implications

S. MIYAMOTO 265

Managing soil environments for tree crops

S. MIYAMOTO
D. SWIETLIK
L. B. FENN
V. LEE 279

Eficiencia en el uso del agua en algodónero bajo
diferentes calendarios de riego y con acolchado
de plástico

CLAUDIO GODOY A.
MA. EUGENIA LUNA P. 293

DIVISION II

COMISION EDITORA

DR. ANDRES AGUILAR SANTELISES

Editor en jefe

DR. JAVIER Z. CASTELLANOS,

Editor adjunto

DR. GABRIEL ALCANTAR GONZALEZ,

DR. VICTOR M. ORDAZ CHAPARRO,

DR. JUAN JOSE PEÑA CABRIALES,

DR. XAVIER X. UVALLE BUENO

Editores técnicos

M.C. JORGE ALVARADO LOPEZ,

Editor de estilo

EDITORES ASOCIADOS NACIONALES

DR. MANUEL ANAYA GARDUÑO, México

DR. JESUS CABALLERO MELLADO, México

DR. LENOM J. CAJUSTE, México

DR. RONALD FERRERA CERRATO, México

DR. BENJAMIN FIGUEROA SANDOVAL, México

M.C. MARGARITA E. GUTIERREZ RUIZ, México

DR. REGGIE J. LAIRD, México

DR. ANGEL MARTINEZ GARZA, México

DR. ROBERTO NUÑEZ ESCOBAR, México

DR. JOSE LUIS OROPEZA MOTA, México

M.C. CARLOS ORTIZ SOLORIO, México

DR. ALEJANDRO VELAZQUEZ MARTINEZ, México

DR. ENRIQUE PALACIOS VELEZ, México

DR. OSCAR L. PALACIOS VELEZ, México

DR. BENJAMIN V. PEÑA OLVERA, México

DR. ANTONIO TURRENT FERNANDEZ, México

EDITORES ASOCIADOS INTERNACIONALES

DR. EDUARDO BESOAIN M., Chile

DR. WINFRIED E.H. BLUM, Austria

DR. ELMER BORNEMISZA, Costa Rica

DR. LUIS ALFREDO DE LEON, Colombia

DR. HARI ESWARAN, USA

DR. ANTHONY FISCHER, Australia

DR. JUAN F. GALLARDO LANCHO, España

DR. RENATO GREZ Z., Chile

DR. ALBERTO HERNANDEZ, Cuba

DR. JOSE M. HERNANDEZ MORENO, España

DR. ERIC S. JENSEN, Dinamarca

DR. WALTER LUZIO LEIGHTON, Chile

DR. JOHN T. MORAGHAN, USA

DR. HECTOR J. M. MORRAS, Argentina

DR. CHRISTIAN PRAT, Francia

DR. PARKER F. PRATT, USA

DR. PAUL QUANTIN, Francia

DR. JOSE RODRIGUEZ, Chile

DR. CARLOS ROQUERO, España

DR. KARL STAHR, Alemania

DR. BERNARDO VAN RAIJ, Brasil

DR. RAFAEL VILLEGAS, Cuba

DR. EDUARDO ZAFFARONI, Brasil

CUERPO EDITORIAL ADMINISTRATIVO

DRA. EDNA ALVAREZ SANCHEZ

Distribución

"TERRA", Registro en Trámite. Organó Científico de la Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo, A.C.
Volumen 14-3, julio-septiembre, 1996.

ISSN 0187-5779

Los artículos publicados son responsabilidad absoluta de los autores. Se autoriza la reproducción parcial o total del contenido de esta revista, citándola como fuente de información. Las contribuciones a esta revista deben enviarse, en original y dos copias, redactadas conforme a las Normas para Publicación en la Revista TERRA, al: Editor de la Revista TERRA, Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo, A.C. Apartado Postal 45, 56230 Chapingo, Edo. de México, México.

Oficinas: Edificio del Departamento de Suelos, Universidad Autónoma Chapingo, Chapingo, Estado de México.

Teléfono (595) 460 24 y 422 00 ext. 5237

Fax: (595) 480 76

Artículos Científicos

División I. Diagnóstico, Metodología y

Caracterización de los suelos de la llanura costera norte de Tecomán, Colima. **OCTAVIO PEREZ ZAMORA**.... 229

Variabilidad espacial de la conductividad eléctrica en un suelo del este de Cuba. II. Análisis geoestadístico. **ANGEL UTSET SUASTEGUI, MARIA ELENA RUIZ PEREZ, JULIAN HERRERA PUEBLA**..... 241

División II. Relación Suelo-Clima-Biota

La transpiración como un indicador fisiológico del inicio de sequía en frijol. **MARCO ANTONIO GUTIERREZ C., ALFONSO LARQUE SAAVEDRA Y CARLOS A. ORTIZ S.**..... 251

Influencia de nutrimentos y factores topográficos en la eficiencia de crecimiento y área foliar de abeto Douglas en las cascadas centrales de Oregon, EUA. **ALEJANDRO VELAZQUEZ MARTINEZ Y DAVID A. PERRY**..... 257

Salinidad del Río Grande: Tendencias e implicaciones de Manejo. **S. MIYAMOTO**..... 265

Manejo del Medio Ambiente Edáfico para Cultivos Arbóreos. **S. MIYAMOTO, D. SWIETLIK, L.B. FENN Y V. LEE**..... 279

Eficiencia en el uso del agua en algodónero bajo diferentes calendarios de riego y con acolchado de plástico. **CLAUDIO GODOY A. Y MA. EUGENIA LUNA P.**..... 293

División III. Aprovechamiento del Recurso Suelo

Aplicaciones prácticas de la teoría del movimiento del agua en suelos bajo riego y drenaje. **YURI NIKOLSKI**. 301

Efecto de la proximidad del maíz y de la poda sobre la composición nutrimental de árboles de ciruelo en agricultura de temporal. **JOSE I. CORTES FLORES, RANFERI MALDONADO TORRES, JORGE D. ETCHEVERS BARRA Y ANTONIO TURRENT FERNANDEZ**..... 313

Cuantificación de biomasa y actividad microbiana en suelos agrícolas del estado de Hidalgo. **ANA MA. ESTRADA BARBA Y TEODORO GUTIERREZ CASTREJON**..... 319

Estudio comparativo de la eficiencia de uso y absorción de fósforo, a partir de fertilizantes fosfóricos, por genotipos chilenos de trigo. **F. ZAPATA, I. PINO, P. BAHERLE Y A.M. PARADA**..... 325

Producción de melón en suelos mejorados con leguminosas, sorgo forrajero y residuos de malezas. **OCTAVIO PEREZ ZAMORA**..... 331

Riesgo potencial de erosión eólica en el estado de Jalisco, México. **RAFAEL ZARATE Z. E HILARIO DE LA CRUZ M.**..... 339

Comentarios y Cartas al Editor

Desarrollo y situación actual de la nutrición vegetal en México. **G. ALCANTAR GONZALEZ, M. SANDOVAL VILLA Y P. SANCHEZ GARCIA**..... 349

El título de un artículo científico y palabras clave. **JORGE ALVARADO L.**..... 355

EDITORIAL BOARD

DR. ANDRES AGUILAR SANTELISES

Editor-in-chief

DR. JAVIER Z. CASTELLANOS,

Associate editor

DR. GABRIEL ALCANTAR GONZALEZ,

DR. VICTOR M. ORDAZ CHAPARRO,

DR. JUAN JOSE PEÑA CABRIALES,

DR. XAVIER X. UVALLE BUENO

Technical editors

M.C. JORGE ALVARADO LOPEZ,

Style editor

NATIONAL ASSOCIATE EDITORS

DR. MANUEL ANAYA GARDUÑO, Mexico

DR. JESUS CABALLERO MELLADO, Mexico

DR. LENOM J. CAJUSTE, Mexico

DR. RONALD FERRERA CERRATO, Mexico

DR. BENJAMIN FIGUEROA SANDOVAL, Mexico

M.C. MARGARITA E. GUTIERREZ RUIZ, Mexico

DR. REGGIE J. LAIRD, Mexico

DR. ANGEL MARTINEZ GARZA, Mexico

DR. ROBERTO NUÑEZ ESCOBAR, Mexico

DR. JOSE LUIS OROPEZA MOTA, Mexico

M.C. CARLOS ORTIZ SOLORIO, Mexico

DR. ALEJANDRO VELAZQUEZ MARTINEZ, Mexico

DR. ENRIQUE PALACIOS VELEZ, Mexico

DR. OSCAR L. PALACIOS VELEZ, Mexico

DR. BENJAMIN V. PEÑA OLVERA, Mexico

DR. ANTONIO TURRENT FERNANDEZ, Mexico

INTERNATIONAL ASSOCIATE EDITORS

DR. EDUARDO BESOAIN M., Chile

DR. WINFRIED E.H. BLUM, Austria

DR. ELMER BORNEMISZA, Costa Rica

DR. LUIS ALFREDO DE LEON, Colombia

DR. HARI ESWARAN, USA

DR. ANTHONY FISCHER, Australia

DR. JUAN F. GALLARDO LANCHO, Spain

DR. RENATO GREZ Z., Chile

DR. ALBERTO HERNANDEZ, Cuba

DR. JOSE M. HERNANDEZ MORENO, Spain

DR. ERIC S. JENSEN, Denmark

DR. WALTER LUZIO LEIGHTON, Chile

DR. JOHN T. MORAGHAN, USA

DR. HECTOR J. M. MORRAS, Argentina

DR. CHRISTIAN PRAT, France

DR. PARKER F. PRATT, USA

DR. PAUL QUANTIN, France

DR. JOSE RODRIGUEZ, Chile

DR. CARLOS ROQUERO, Spain

DR. KARL STAHR, Germany

DR. BERNARDO VAN RAIJ, Brazil

DR. RAFAEL VILLEGAS, Cuba

DR. EDUARDO ZAFFARONI, Brazil

EDITORIAL STAFF

DRA. EDNA ALVAREZ SANCHEZ

Distribution

"TERRA", Registration pending. Scientific publication of the Mexican Society of Soil Science. Volume 14-3, July-September 1996.

ISSN 0187-5779

The authors take full responsibility for the articles published. Partial or total reproduction of the content of this journal is authorized, as long as this publication is cited as the information source. When submitting articles to this journal, an original and two copies must be sent to: Editor de la Revista TERRA, Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo, A.C., Apartado Postal 45, 56230 Chapingo, Edo. de México, México.

Office address: Edificio del Departamento de Suelos, Universidad Autónoma Chapingo, Chapingo, Estado de México.

Telephone: +52-595-460 24

Fax: +53-595-48076

Scientific Articles

Division I: Diagnosis Metodology and

Evaluation of the Soil Resource

Soil characteristics of the North Coastal Plains of Tecomán, Colima. **OCTAVIO PEREZ ZAMORA**..... 229

Spatial variability of electrical conductivity in a soil at the East of Cuba. II. Geostatistical Analysis. **ANGEL UTSET SUASTEGUI, MA. ELENA RUIZ PEREZ AND JULIAN HERRERA PUEBLA**..... 241

Division II. Soil-Climate-Biota Relationship

Transpiration as physiological index of initial drought, in common bean. **MARCO ANTONIO GUTIERREZ C., A. LARQUE SAAVEDRA AND C.A. ORTIZ S.**..... 251

Nutrient and topedaphic factors influence in growth efficiency and leaf area in Douglas-Fir plantations in the Central Oregon Cascades, USA. **ALEJANDRO VELAZQUEZ MARTINEZ AND DAVID A. PERRY**.. 257

Salinity of the Rio Grande: Trend and Management Implications. **S. MIYAMOTO**..... 265

Managing Soil environments for tree crops. **S. MIYAMOTO, D. SWIETLIK, L.B. FENN AND V. LEE**..... 279

Water use efficiency in cotton with different irrigation scheduling and plastic mulch. **CLAUDIO GODOY A. AND MA. EUGENIA LUNA P.**..... 293

Division III. Use of the Soil Resource

Practical applications of theory of water movement in irrigated and drained soils. **YURI NIKOLSKI**..... 301

Maize proximity and pruning effects on nutrient composition of plum trees growing under rainfed agriculture. **JOSE I. CORTES FLORES, RANFERI MALDONADO T., JORGE D. ETCHEVERS B., AND ANTONIO TURRENT FERNANDEZ**..... 313

Cuantification of the biomass and the microbial activity in agricultural soils in Hidalgo State. **ANA MA. ESTRADA BARBBA AND TEODORO GUTIERREZ CASTREJON**..... 319

Comparative study about the efficiency and p absorption from phosphate fertilizers with chilean wheat genotypes. **F. ZAPATA, LPINO, P. BAHERLE AND A.M. PARADA**..... 325

Yield of cantaloupe soil amended with legume, forage sorghum, and weed residues. **OCTAVIO PEREZ ZAMORA**..... 331

Potential risk of wind erosion in the state of Jalisco, Mexico. **RAFAEL ZARATE Z. AND HILARIO DE LA CRUZ M.**..... 339

Comments and Letters to the Editor

Development and actuality of plant nutrition in Mexico. **G. ALCANTAR GONZALEZ, M. SANDOVAL VILLA AND P. SANCHEZ GARCIA**..... 349

Title and key words. **J. ALVARADO L.**..... 355

AGRADECIMIENTOS

La Sociedad Mexicana de las Ciencias del Suelo, agradece ampliamente el apoyo brindado por la **Fundación Produce Tabasco, A.C.**, por el financiamiento completo de 1,000 volúmenes de esta revista TERRA, que es el órgano informativo técnico científico de los miembros de la Sociedad Mexicana de las Ciencias del Suelo y que en esta ocasión de manera especial el Gobierno del Estado de Tabasco, que preside el **Lic. Roberto Madrazo Pintado**, nos ha brindado todo su apoyo en virtud de desarrollarse el XXVIII Congreso Nacional de las Ciencias del Suelo en el Estado de Tabasco, entidad tan representativa de las regiones tropicales de México, donde todavía falta mucho por hacer en materia de uso y manejo de suelos, y esta acción seguramente va a contribuir en mucho al desarrollo tecnológico de Tabasco.

Es importante mencionar que la revista TERRA, se nutre de los artículos que presentan nuestros agremiados en los congresos que anualmente se desarrollan en distintos estados de la república, de tal manera, que todos en el congreso del Estado de Tabasco, serán presentados en los números subsecuentes de esta revista.

Por último, nuestro agradecimiento y reconocimiento al C.P. Edgar Méndez Garrido, Director General del **Instituto para el Desarrollo de Sistemas de Producción del Trópico Húmedo de Tabasco**, del Gobierno del Estado, y actual presidente de la **Fundación Produce Tabasco, A.C.** por todas las facilidades brindadas para la edición de la presente revista.

Sociedad Mexicana de las Ciencias del Suelo.

CARACTERIZACION DE LOS SUELOS DE LA LLANURA COSTERA NORTE DE TECOMAN, COLIMA

Soil Characteristics of the North Coastal Plains of Tecoman, Colima

Octavio Pérez Zamora¹

RESUMEN

Estudios previos, de la llanura costera norte de Tecoman, reportan que la información edáfica es incompleta y fragmentaria. El objetivo del presente trabajo fue caracterizar y clasificar los suelos de dicha llanura. La precipitación anual es de 625 mm en el área de estudio (7 825 ha). El terreno se muestreo (313) utilizando una cuadrícula 500 x 500 m con orientación W-E. Los resultados mostraron diversidad en los suelos mapeados, lo que se relacionó con el material parental y topografía. Los suelos estudiados tienen origen alluvial/coluvial y se derivaron de calizas, rocas ígneas intrusivas y mezcla de ambas, principalmente en abanicos aluviales. Los suelos derivados de calizas presentaron mayor contenido ($P < 0.05$) de carbonato de calcio, de arcilla, materia orgánica y valores de conductividad eléctrica más altos que los encontrados en abanicos aluviales derivados de rocas ígneas. Se observó alta correlación ($P < 0.05$), con pruebas paramétricas y no paramétricas, entre el carbonato de calcio y el resto de los atributos del suelo. En la región se requiere investigación edáfica adicional, que se oriente a examinar relaciones cuantitativas entre las propiedades del suelo y los atributos topográficos del terreno.

Palabras clave: Transecto, calizas, carbonato de calcio, atributos suelo, topografía.

SUMMARY

Previous findings reported the coastal plains of Tecoman as a flat land without great variations in soil characteristics; however, soil survey is incomplete and lack of details. The objective of this work was to characterize and to classify the soils of Tecoman

¹ Investigador del Programa de Cítricos. Campo Agrícola Experimental Tecoman. INIFAP. Apartado Postal 104, 28000 Colima, Col., México.

Aceptado: Mayo de 1996.

region. The mean annual precipitation is about 625 mm on the study area (approximately 7 825 ha). Field was sampled (313) using a horizontal grid 500 by 500 m oriented west to east. The diversity of soils mapped within the study area reflects variation in parent material and topography. The soils studied have mostly developed in alluvium/colluvium derived from limestone, igneous intrusive or from a mixture of the two, primarily on alluvial fans. Soil developed from limestone have higher content ($P < 0.05$) of calcium carbonate, clay, organic matter and electrical conductivity than those developed in igneous fans. High correlation ($P < 0.05$), for both parametric and non-parametric test was observed between calcium carbonate and other soil attributes. Further research is needed, oriented to examine correlations of soil properties with quantitative topographic attributes.

Index words: Calcium carbonate, transect, limestone, soil attribute, topography.

INTRODUCCION

Para propósitos agrícolas, la información actualizada de suelos es esencial. El ambiente de un cultivo y el manejo de los suelos tienen componentes físicos, químicos, biológicos y socioeconómicos. La naturaleza de esas variables varía a través del tiempo y del espacio, lo que significa que un cultivo, en particular, y sus métodos de manejo son óptimos en lugares y tiempos diferentes (ICRISAT, 1994; Pérez-Z., 1995). Por tal razón los científicos agrícolas quieren entender las complejas relaciones de esas variables y proveer prácticas más efectivas de manejo para el cultivo y apropiadas a las condiciones del sitio.

En este sentido el reconocimiento de suelos es clave en el desarrollo de la pedología (Simonson, 1991) y los mapas de suelo son herramientas valiables para el manejo de los recursos (Moore *et al.*, 1993). Sin embargo, los métodos estándar no fueron diseñados para proveer alta resolución, por lo que para aplicaciones de prácticas agrícolas específicas se

requiere más detalle e información (Pérez-Z., 1994, 1995; Peterson, 1991; Peterson *et al.*, 1991).

Por otra parte, los mapas convencionales tampoco delinean la variabilidad espacial, ni representan atributos específicos de la variación; con frecuencia los rangos (particularmente de texturas de suelo, contenidos de carbonatos, conductividad eléctrica) tienen, por lo regular, gran variación real (Dow y James, 1973; Robbins, 1985; Vieira *et al.*, 1981; Wilding, 1985). Además, es común observar que el perfil muestreado para derivar las unidades de mapeo se encuentra a kilómetros del punto de interés (Buol *et al.*, 1989; Pérez-Z., 1995; SPP, 1981).

El clima, el material madre, topografía y factores bióticos influyen en la formación del suelo (Jenny, 1941, 1980); sin embargo, el clima ejerce efecto a escala más amplia que lo que sería de interés en la llanura costera norte de Tecomán. Por esta razón, sería conveniente seleccionar un área relativamente uniforme en material madre, de tal manera que una parte considerable de la variación local del suelo se atribuya a cambios topográficos. La hipótesis fundamental en muchas topoformas, es que el desarrollo del suelo ocurre en respuesta a la manera en que el agua se mueve a través de la superficie. En este sentido varios investigadores señalan que el agua es el agente erosivo dominante en bajíos y terrenos casi planos (King, 1982; Moore, 1990; Moore *et al.*, 1988).

La llanura costera de Tecomán se ha considerado como un área homogénea (INEGI, 1991; SPP, 1981), sin embargo, esta consideración no es apropiada, ya que estudios previos señalan que la información edáfica es incompleta y fragmentaria (Pérez-Z., 1992, 1994).

El objetivo del presente trabajo fue caracterizar y clasificar los suelos de la llanura costera norte de Tecomán Colima.

METODOS

Localización del Área

El área en estudio (7 825 ha) está localizada en la llanura costera norte de Tecomán, Colima (Figura 1). La zona es una llanura costera con influencia mixta, aluvial continental y de oleaje marino; la agricultura es de riego, gravedad y bombeo, en la cual el agua es factor determinante para el desarrollo de los cultivos (limón, plátano, mango y hortalizas) más importantes

de la región. La zona contiene toposecuencias comunes al área geográfica (Pérez-Z., 1992, 1994). Los suelos tienen buen drenaje, texturas franca arenosas a franco arcillosas y el régimen de temperatura es isohiper-térmico (Newhall, 1972; Pérez-Z., 1993). El estudio de suelos más reciente publicado divide el área en cuatro unidades de mapeo (SPP, 1981). Esta fuente primaria de información se utilizó en la delineación inicial de unidades de suelo.

Ubicación de Sitios de Muestreo

La base consistió de cuadrícula 500 x 500 m trazada sobre mapa de suelos escala 1:50 000 (SPP, 1981), que generó un total de 313 sitios; cada punto de muestreo se ubicó en el vértice superior derecho de la cuadrícula. La localización de las coordenadas calculadas se estimó en el terreno con posicionador geográfico (GPS) modelo Ensign XL GPS de *Trimble Navigation*, Austin, Texas., cuando se estabilizaba la lectura; esto último ocurrió al recibir la señal de 7 a 9 satélites. Cuando el punto determinado coincidía con un obstáculo natural o artificial, el sitio real se muestreaba de 75 a 100 m de dicho obstáculo, y se registraban las nuevas coordenadas.

Muestreo de Suelos

En cada uno de los puntos se excavó un pozo, con pala, de 60 cm de profundidad y, posteriormente, con barrena se muestreó hasta la profundidad de 1.2 m o presencia de estrato endurecido y/o manto freático. Las muestras para análisis físico-químico de suelos correspondieron a las profundidades de 0 a 30 y de 30 a 60 cm. En campo se determinó textura al tacto (Thien, 1979), color de suelo en húmedo, consistencia en seco húmedo y mojado (Bridges, 1990; WRBSR, 1994), carbonato de calcio (Holmgren, 1993; Soil Survey Staff, 1992); la estructura del suelo se observó solo a la profundidad de 60 cm (Climo, 1982).

Análisis de Laboratorio

El tamaño de las partículas de suelo se midió por el método del hidrómetro después de dispersar el suelo con hexametáfosfato de sodio (Day, 1965). La materia orgánica con el procedimiento modificado Walkley-Black (Schnitzer, 1982). El pH se midió en una proporción 1:1 suelo/agua (McLean, 1982). El

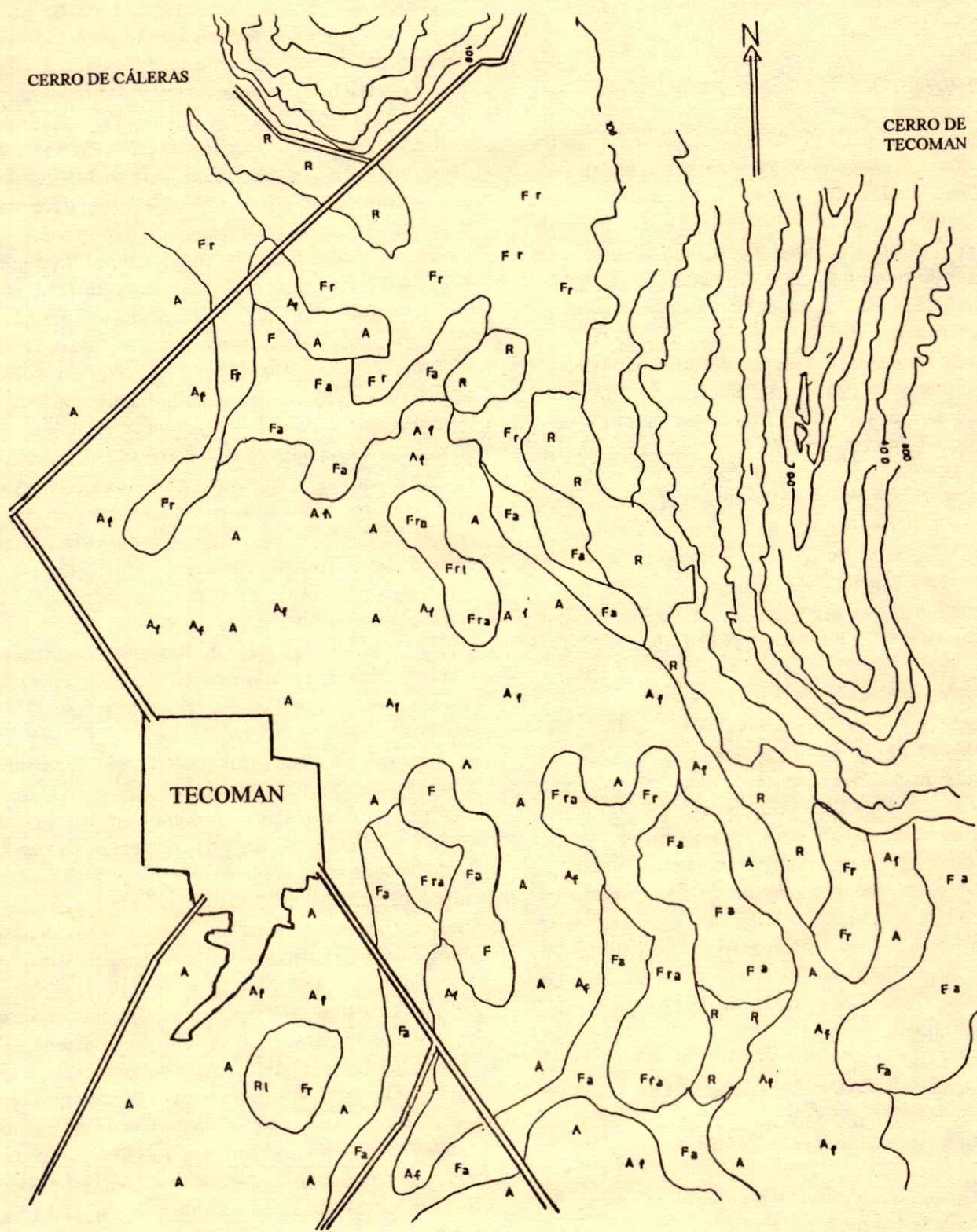


Figura 1. Localización y texturas del subsuelo (30 a 60 cm) en el área de estudio. Llanura Costera Norte de Tecomán, Colima. 1995.

carbonato de calcio como lo reporta Enríquez (1987) y la conductividad eléctrica como lo describen Chavira y Castellanos (1987).

Descripción de Perfiles y Clasificación de Suelos

Se describieron 10 perfiles en transectos seleccionados, que reunieran una combinación específica de propiedades reales del suelo, cuyas características fueran considerablemente diferentes a la de otros suelos, y que tuvieran una recurrencia notoria para considerarlos como una clase diferente (Knox, 1965). Los perfiles se describieron siguiendo los procedimientos señalados en el Soil Survey Staff (1992). En la mayoría de los casos, el pozo de descripción coincidió con los sitios de muestreo. Las muestras se secaron al aire, se tamizaron y enviaron al laboratorio para análisis de salinidad y contenido de carbonato de calcio.

La clasificación se efectuó utilizando el criterio de horizontes de diagnóstico con información colectada en el campo y datos de apoyo de laboratorio (Soil Survey Staff, 1992). El método de clasificación, hasta donde la disponibilidad de datos lo permitió, empleado fue el sistema bi-categorico FAO-UNESCO-ISRIC (1990).

Análisis Estadísticos

Los datos (313) se procesaron y obtuvieron las estadísticas respectivas con el empleo del programa COHORT 3, Berkeley, California. Las pruebas consistieron en estadísticas paramétricas y no paramétricas; previo a los análisis estadísticos se efectuó prueba de homogeneidad de varianza y normalidad de los datos; posteriormente, se efectuaron análisis paramétricos de regresión y correlación múltiples y análisis de varianza. Las pruebas no paramétricas fueron correlación de Kendall-Sperman, y Mann-Whitney.

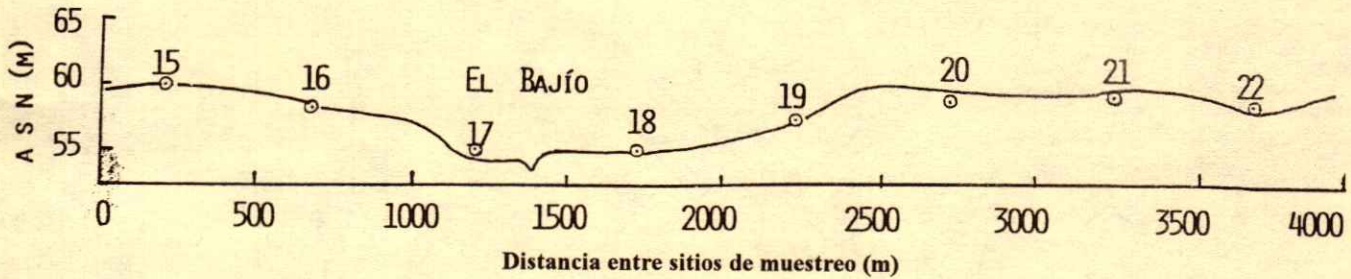
RESULTADOS Y DISCUSION

Toposecuencias de Suelos

El número de observaciones por línea varió de acuerdo con la longitud del transecto; este estuvo en función de los propósitos de un estudio previo, que consideró incluir únicamente el área agrícola con riego de gravedad/bombeo, excluyendo laderas y áreas sin

infraestructura actual de riego. El menor número de observaciones por línea de transecto fue de 13, y el mayor de 35, que correspondieron al norte y sur de la llanura costera, respectivamente. La Figura 2 muestra suelos contrastantes e inclusiones encontrados en parte del transecto No 3, oriente-poniente. En el resto de los transectos (dirección oriente-poniente), las variaciones observadas en los atributos del suelo, resultaron consistentes con el transecto No 3. Esto parece marcar o separar diferencias entre suelos en función de su ubicación con respecto al dren natural denominado *Tecuanillo*. Este disecta la llanura norte de Tecmán en dos zonas, oriente y poniente, y forma una depresión que en la región se denomina El Bajío (Figuras 2 y 3). Lo anterior se expresa sobre el desarrollo y clase de suelos de la llanura costera; esto es un ejemplo parcial de lo que puede estar ocurriendo en la región; con base en esto sería de esperar mayores rangos de variación en las características de los suelos que no fueron reportados en estudios previos (INEGI, 1991; Pérez-Z., 1992, 1994; SPP, 1981). También sugiere que otros procesos, diferentes o en combinación con los ya considerados, son posiblemente responsables por las características contrastantes de los suelos de la región. En síntesis, el estado actual de la información existente en la zona plantea más preguntas que respuestas, por lo que estudios adicionales son requeridos.

La posición geomorfológica de los sitios influyó sobre los horizontes y atributos del suelo (drenaje, escurrimiento; pendiente, profundidad del horizonte mólico, materia orgánica, pH, contenido de arcilla y grado de formación del horizonte B_w y B₂). La relación entre atributos topográficos, tal como elevación relativa, pendiente, área de captación específica y procesos de escurrimiento y erosión del paisaje han sido reportados por Moore *et al.* (1991) y Speight (1974). Estos efectos son marcadamente diferentes entre suelos de la margen oriente y poniente del dren Tecuanillo. Lo más contrastante, por sus implicaciones económicas para la fruticultura y agricultura de la región, es el contenido (%) de carbonato de calcio en suelo y subsuelo. Incrementos (> 15.5 %) considerables se registraron a distancias cortas. La presencia de carbonatos en suelo y subsuelo en la zona de contacto o frontera puede atribuirse a los escurrimientos y magnitud de las deposiciones de suelo dominante, ya que ambas márgenes tienen pendiente (3 a 4 %) inclinada hacia el dren Tecuanillo. Esto tiene



No. de Sitio	15	16	17	18	19	20	21	22
Clasificación	CMm	PHh	FLc	CLa	CLl	CLh	CLb	CLb
Altura SNM	60	59	55	56	57	58	59	58
Profundidad	>1 m	>1 m	>1 m	>1 m	>1 m	0.5 m	>1 m	>1 m
Color húmedo, SUE †	10 YR 3/1	10 YR 3/2	10YR 3/2	10 YR 4/3	7.5 YR 3/4	7.5 YR 4/4	10 YR 3/2	10 YR 3/2
M. freático	Profundo	Profundo	0.8 m	Profundo	Profundo	Profundo	Profundo	Profundo
H Cl : SUE y SUB y C	no, no, no	no, no, no	m, d, no	m, m, f	f, f, mf	mf, mf	f, mf, mf	f, mf, mf
Acumulac. CaCO ₃	no	no	Difusa	Difusa	Discontinua	Discontinua	Difusa	Difusa
Pendiente %	1.0	1.5	1.0	2.5	10.0	2.0	1.5	1.5
Consistencia seco SUE	Lig. dura	Dura	Blanda	Suelta	Dura	Ext. dura	Ext. dura	Ext. dura
CE dS m ⁻¹ SUE y SUB	0.45;0.46	0.95;0.65	5.1;1.7	0.45;0.38	0.58 ;0.87	1.36 ;0.74	0.37 ;0.45	1.55; 0.95
pH SUE y SUB	7.5, 7.7	7.5, 7.5	7.7, 7.7	7.6, 7.9	7.6, 7.7	7.6, 7.9	7.9, 7.9	7.9, 7.9
M. orgánica % , SUE	0.4; 0.5	0.3; 0.4	0.9;0.1	0.4; 0.3	1.5; 0.4	2.5;0.3	2.3;1.5	4.3;3.0
Textura SUE y SUB , C	Frl, Fa, Fa	Fr, F, Af	Fa, A, A	Af, A, A	Fra, Fra, R	Fra, A	Frl, Fr	Fr, Fr

†SUE =0 a 30 cm; SUB = 30 a 60 cm; C=60 a 90 cm; H Cl : d=débil; m=medio; f=fuerte; mf=muy fuerte; Textura: A=Arena; R=Arcilla; Frl=Franco arcillo limoso; Fa=Franco arenoso; Fr=Franco arcilloso; Af=Arena francosa; F=Franco; Fra =Franco arcillo arenoso.

Figura 2. Transecto (dirección oeste-este) de la Llanura Costera Norte de Tecomán, Colima.

soporte adicional por la naturaleza de los eventos con efecto erosivo debido a la precipitación que ocurre en la zona (Pérez-Z., 1993).

Aunque gran parte de la variación en suelos puede atribuirse a la variación local (topográfica), no debe descartarse la influencia del material parental que existe en la margen oriente y poniente del dren Tecuanillo. Al oriente los materiales predominantes son mezclas aluviales de naturaleza caliza, provenientes de los cerros de Caleras y San Miguel; mientras que en la otra margen (poniente) son derivados de arenas medias y gruesas, y sin contenidos apreciables de carbonatos de calcio. Sin embargo, el principio dominante en la llanura costera norte es que el desarrollo de los suelos puede atribuirse a la manera que el agua se mueve sobre y a través de la superficie y subsuelo.

Suelos de la Llanura Costera de Tecomán

En la Figura 3 se muestra la distribución de los suelos clasificados por el autor, mediante el sistema categórico FAO-UNESCO-ISRIC (1990). Es de observar que las inclusiones de suelos contrastantes fueron más comunes que las inclusiones de suelos similares. Esto se relacionó con la sugerencia, del

capítulo anterior, de que el agua es el agente dominante en el proceso de erosión y escurrimiento en la zona de estudio. Esta observación es congruente con la reportada por Stone *et al.* (1985). Entre las asociaciones contrastantes tenemos Fluvisoles calcáricos (FLc) con Calcisoles háplicos (CLh) y Arenosoles háplicos (ARh) con Fluvisoles calcáricos (FLc).

En las partes cercanas (margen izquierda del dren Tecuanillo) a los cerros de Caleras y San Miguel, constituidos de materiales calizos, los suelos predominantes son Vertisoles, Calcisoles y Kastanozems. Los Vertisoles ocupan las partes bajas del paisaje. Dichos suelos se relacionan con la naturaleza del material parental (FAO, 1991; Kittrick, 1971; Seghal y Battacharje, 1988); esta situación también se presenta en la región: rocas de grano fino, calizas y aluviones de origen fluvial, lacustre o marino (INEGI, 1991; Pérez-Z., 1994).

La combinación de posición topográfica, condiciones climáticas y el material parental determinan los nexos espaciales y temporales de vertisoles con otros suelos. En condiciones fisiográficas similares los Vertisoles se asocian con suelos que contienen acumulaciones de componentes solubles, tales como Calcisoles y Kastanozems

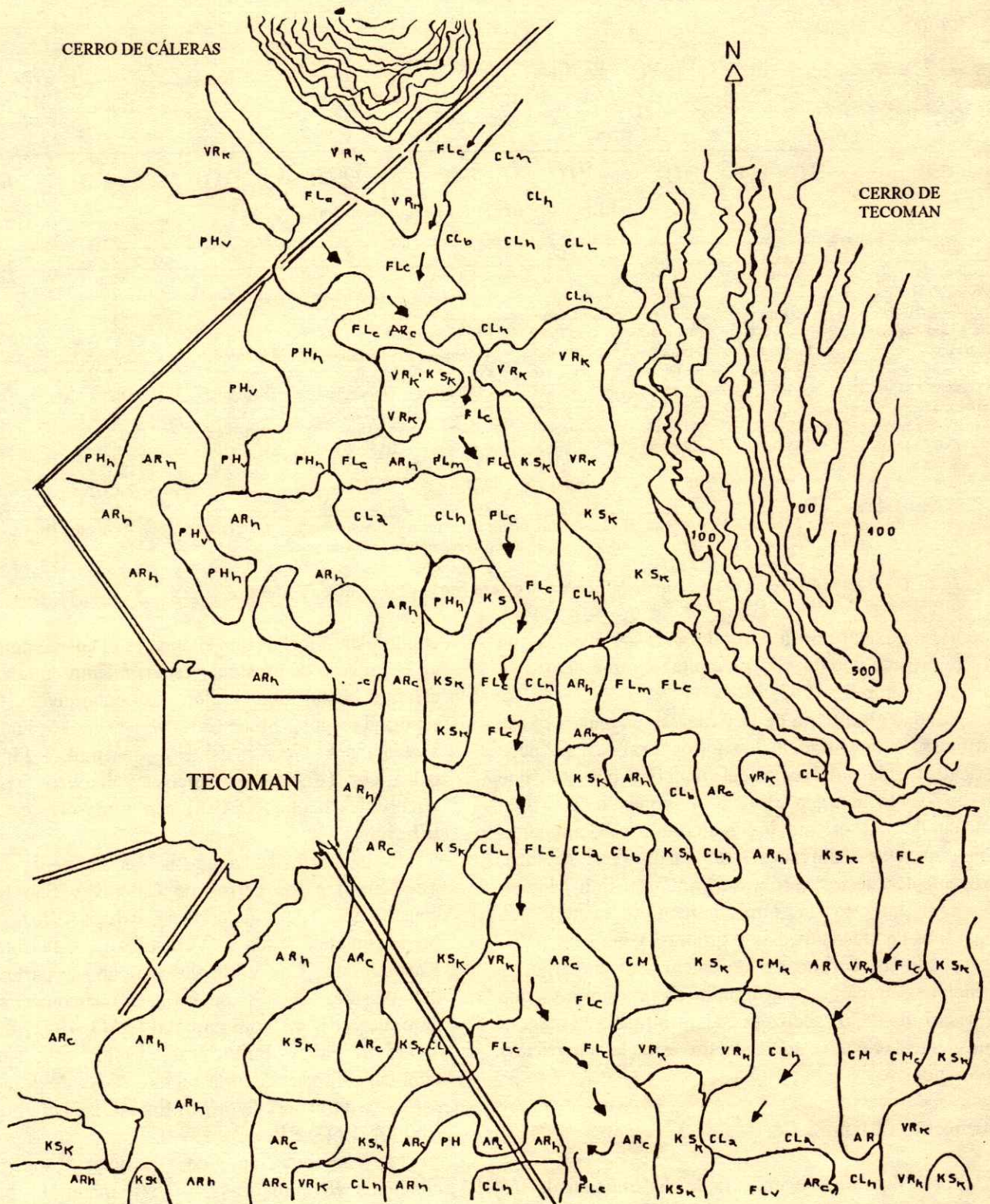


Figura 3. Suelos principales de la Llanura Costera Norte de Tecomán, Colima. 1995. Arh=Arenosol háptico; Arc=Arenosol calcárico; PHh=Phaeozem háptico; PHv=Phaeozem vértico; Flm=Fluvisol mólico; Flc=Fluvisol calcárico; Flv=Fluvisol vértico; CLh=Calcisol háptico; CLa=Calcisol afénico; CLb=Calcisol cámbico; CLp=Calcisol pétrico; CLl=Calcisol lúvico; Vrk=Vertisol calcárico; Cmc=Cambisol calcárico; Cmb=Cambisol cámbico; Cmh=Cambisol háptico.

(Figura 3). Estos resultados se encuentran en concordancia con lo reportado por FAO (1991). En este ambiente, calizas subyacentes, también se observaron toposecuencias de Luvisoles y Vertisoles en los costados de pendientes y posiciones bajas, respectivamente.

La margen oriental del dren Tecuanillo tiene condiciones más húmedas y la acumulación de materia orgánica empieza a prevalecer a causa de la acumulación de biomasa producida por las huertas de limón, mango y palma; en estas condiciones los suelos que se observan son Phaeozem vérticos y Phaeozem háplicos.

Al sur de la llanura y norte de la ciudad de Tecomán la influencia del material parental (aluviones de origen marino) consiste de arenas medias a gruesas ricas en feldespatos; los suelos predominantes en esta parte de la llanura costera son Arenosoles háplicos.

En las áreas riverinas (dren natural Tecuanillo) los patrones de deposición fueron factor importante en la asociación lateral de suelos. Los suelos predominantes son Fluvisoles mólicos y Fluvisoles calcáricos que se asocian con Calcisoles, Kastanozem y Arenosoles calcáricos. Esto último se debe a escurrimientos de agua, que acarrea materiales en solución, provenientes del Cerro de San Miguel y que drenan al *Tecuanillo*. Los materiales en suspensión contienen partículas de carbonatos de calcio, y cuando los eventos de lluvia son de magnitud considerable rebasan la capacidad del dren e inundan localidades de la margen derecha del dren.

En los suelos Kastanozem se observó acumulaciones discontinuas (concreciones) de carbonatos de calcio en la parte inferior del horizonte mólico y en el horizonte transicional a material parental. Este criterio de diagnóstico se utilizó para separar a los Kastanozem de los Phaeozem (FAO, 1991).

Los suelos localizados en depresiones (El Bajío), con potencial para anegamiento de agua temporal, interrumpen los procesos de movimiento del agua y producen sitios de deposición. En consecuencia, puede hipotetizarse que la distribución espacial de atributos topográficos, que caracterizan los movimientos de agua, también capturan la variación espacial de atributos del suelo (salinización, gleysación) a escala superior (*mesoescala*). En conclusión, los esfuerzos de investigación deberían dirigirse a examinar la correlación entre el suelo y atributos cuantitativos de la topografía; sin embargo, la dificultad está en función

de las limitaciones económicas y físicas, que prohíben la colección de datos suficientes para desarrollar modelos adecuados de variación espacial (Dikau, 1989).

Estadísticas de los Datos

En el Cuadro 1 se muestran las estadísticas descriptivas de todos los sitios de muestreo de la llanura costera de Tecomán. Es de notar la gran variación en desviación estándar y coeficiente de variación de los atributos del suelo. La mayoría de los parámetros, con excepción del contenido de carbonato en el suelo superficial (Cont CO_3 SUE), pH de suelo superficial y subsuelo (pH SUE y SUB) no tuvo distribución normal ($P < 0.05$). Sin embargo, esto no fue obstáculo para detectar parte de la variación espacial controlada por la posición topográfica; ésta se registró por diferencias en el color del suelo (horizontes mólicos y ócricos); sin embargo, la heterogeneidad del suelo, a través del paisaje, no se expresó tan visiblemente como para el color; tal es el caso de contenidos de carbonato, de arcilla, conductividad eléctrica y sales (Figura 2).

En la región con frecuencia se comete el error de asumir que las propiedades del suelo son relativamente homogéneas; esto debido a que el terreno es casi plano y no se aprecian evidencias visuales de heterogeneidad. Sin embargo, aún en topografías simples pueden presentarse variaciones en las propiedades del suelo, tales como conductividad hidráulica (Vieira *et al.*, 1981), contenido de humedad (Wierenga, 1985), P aprovechable (Dow y James, 1973), profundidad horizonte A (Pérez-Z., 1994; Wilding, 1985), pH (Pérez-Z., 1992) o sodio intercambiable (Uehara *et al.*, 1985). De la información de transectos (Figura 2), clasificación de suelos (Figura 3) y datos descriptivos (Cuadro 1) de las variables se concluye que la variación que ocurre en las propiedades de los suelos de la zona no es aleatoria, ya que la varianza de la muestra no es función de la distancia de la separación de la muestra (puntos muestreados). Se reconoce las limitaciones y alcances de las interpretaciones hechas con los métodos estadísticos empleados, sin embargo, la disponibilidad de medios físicos y económicos limitan por el momento realizar estudios diferentes.

La asociación lineal de dos variables (Cuadro 2 y Cuadro 3) se estimó con dos métodos, paramétrico y no paramétrico. En el primer caso se asumió que los

Cuadro 1. Estadísticas de variables seleccionadas del suelo. Llanura Costera de Tecomán, Colima. 1995.

	Media	Desv. estándar	Coef. variación	Mínimo	Máximo	P < 0.05	n
			%				
Cont CO ₃ SUE (%)	12.78	12.33	96.51	0.5	35.0	* †	295
Cont CO ₃ SUB (%)	15.21	14.37	94.48	0.5	40.0	ns ‡	295
pH SUE	7.87	0.30	3.82	7.0	8.5	ns ‡	295
pH SUB	7.91	0.26	3.33	7.2	8.4	ns ‡	295
CE SUE ds M ⁻¹	1.23	2.23	384.94	0.27	13.40	*** †	295
CE SUB ds M ⁻¹	0.95	2.1	155.31	0.28	12.28	*** †	295
Materia orgánica SUE (%)	3.01	1.51	50.04	0.1	8.0	*** †	295
Cont Arc SUE (%)	12.63	9.03	71.54	1.42	47.34	*** †	282
Cont Arc SUB (%)	10.36	8.95	86.47	0.78	50.34	*** †	282

† Los datos no tienen distribución normal; ‡ Los datos tienen distribución normal.; ns = no significativo; * = P < 0.05; ** = P < 0.01 y *** = P < 0.001

Cuadro 2. Análisis de correlación de variables seleccionadas del suelo. Llanura Costera de Tecomán, Colima. 1995.

	Cont CO ₃ SUB	pH SUE	pH SUB	CE SUE	CE SUB	Materia orgánica SUE	Cont Arc SUE	Cont Arc SUB
Cont CO ₃ SUE	0.641***	-0.0475 ns	-0.028 ns	0.35294***	0.3224***	0.3571***	0.3598***	0.3301***
Cont CO ₃ SUB		-0.060 ns	0.003 ns	0.4680***	0.4570***	0.3090***	0.2940***	0.313***
pH SUE			0.8982***	-0.0841 ns	-0.0467 ns	-0.1907***	-0.0791 ns	-0.1047 ns
pH SUB				0.0197 ns	-0.0195 ns	-0.1700**	-0.1113 ns	-1.1163 ns
CE SUE					0.8607***	0.2674***	-0.0564 ns	0.0241 ns
CE SUB						0.2512***	0.0156 ns	0.1039 ns
Materia orgánica SUE							0.4454***	0.4582***
Cont Arc SUE								0.7972***

ns = no significativo; *** = Significativo P < 0.001

Cuadro 3. Análisis de correlación (Kendall y Spearman) no paramétrica de variables seleccionadas del suelo. Llanura Costera de Tecomán, Colima. 1995.

	Cont CO ₃ SUB	pH SUE	pH SUB	CE SUE	CE SUB	Materia orgánica SUE	Cont Arc SUE	Cont Arc SUB
Cont CO ₃ SUE	0.851***	0.010 ns	0.040 ns	0.4720 ***	0.4260***	0.4240***	0.3860***	0.4460***
Cont CO ₃ SUB		-0.01 ns	0.05 ns	0.5060***	0.4950***	0.4050***	0.3870***	0.4810***
pH SUE			0.9090***	-0.050 ns	-0.020 ns	-0.170**	-0.060 ns	-0.060 ns
pH SUB				0.040 ns	0.010 ns	-0.150*	-0.040 ns	-0.060 ns
CE SUE					0.8450***	0.2960***	0.030 ns	0.1920**
CE SUB						0.2700***	0.070 ns	0.3010***
Materia orgánica SUE							0.4550***	0.5330***
Cont Arc SUE								0.7190**

ns = no significativo; ** = significativo P < 0.01 y *** = significativo P < 0.001

datos tenían distribución normal, mientras las pruebas de Kendall y Spearman no requieren la distribución normal. Las variables que mostraban correlación entre ellas alcanzaron significancia estadística con ambas pruebas; los valores de r, resultaron en cada uno de los casos ligeramente mayores con la prueba no paramétrica (Kendall y Spearman).

El pH_{sue} y pH_{sub} solo mostró correlación con la materia orgánica_{sue} y entre ambas profundidades, capa arable y subsuelo. En el primer caso pudiera atribuirse a ligeras modificaciones ocasionadas por efecto de los ácidos orgánicos liberados de la materia orgánica; la asociación lineal ($r = 0.9090$ ***) entre pH_{sue} y pH_{sub} es altamente significativa; aunque no se asumió que

esté implicada una relación de causa efecto, el pH_{sub} es ligeramente más alcalino que el pH_{sue}; sin embargo, esta es más probable que se asocie con translocación de partículas de arcilla, que están compuestas de carbonatos de calcio y sales eluviadas por precipitación y riegos realizados en los cultivos.

El contenido de CO₃_{sue} se correlacionó con contenido CO₃_{sue}, CE_{sue} y sub, materia orgánica_{sue} y contenido arcilla_{sue} y sub. Esto es explicable también por procesos de transporte de sales, efectos de la materia orgánica provocando disolución de partículas y una relación causa efecto entre contenidos de carbonatos; a mayor contenido en la capa arable existe mayor posibilidad de encontrarlos en el subsuelo; lo contrario

sería de esperar, al tener capas arables sin carbonatos combinados con materiales parentales sin carbonatos.

Por lo que respecta a la correlación entre CE_{sue} y sub , ($r = 0.8607^{***}$), las causas y procesos mencionados para pH, materia orgánica y contenidos de carbonatos también son aplicables para la conductividad eléctrica.

Finalmente, el contenido arcilla en el subsuelo correlacionó ($r = 0.7972^{***}$) con el contenido de arcilla $_{sue}$. Esto es de esperar en condiciones de desarrollo normales de suelo, ya que los procesos formadores actúan para los promover procesos de disolución arrastre, translocación y acumulación de arcillas en el subsuelo. Esto condujo a la formación de horizontes enriquecidos en arcilla en el subsuelo (B_w y B_{2t}) con respecto a los horizontes eluviales.

En conclusión, las variables de suelo mostraron correlaciones significativas y tuvieron valores (coeficientes de correlación) similares, tanto para pruebas paramétricas como pruebas no paramétricas. Esto resultó válido, tanto para variables que mostraron distribución normal como para las que no la tenían.

Atributos del Suelo en Dos Condiciones de Contenido de $CaCO_3$

Las dos condiciones de suelo fueron no-no (no $CaCO_3$ en toda la profundidad de 0 a 60 cm) y si-si ($CaCO_3$ en todo el perfil de 0 a 60). Los valores de atributos del suelo en estas dos situaciones se muestra en el Cuadro 4 y las estimaciones estadísticas no paramétricas y paramétricas en los Cuadros 5 y 6, respectivamente.

Los valores medios de los atributos de suelo fueron de mayor magnitud en si-si que en no-no, con excepción de pH_{sue} ; de igual manera esta diferencia entre medias fue estadísticamente significativa ($P < 0.05$) con ambas pruebas, no paramétricas y paramétricas (Cuadros 5 y 6). Los valores más altos de $CaCO_3$, CE y $Cont\ Arc$ en si-si que en no-no probablemente estén asociados principalmente con la naturaleza del material fuente, calizas, lutitas, yesos y mezclas de estos, en contraste con materiales carentes de carbonatos y texturas más gruesas. Por ejemplo, los contenidos (%) de arcilla en $_{sue}$ y $_{sub}$ son aproximadamente (ocho veces mayores en si-si que en no-no ($P < 0.001$); en el caso de CE si-si duplica el valor de dicha conductividad eléctrica con respecto a no-no. En el caso de carbonatos de calcio las diferencias en contenido (%) no son sorprendentes, ya que las fuentes

originales de material parental no son comparables; estas diferencias han sido mencionadas anteriormente.

Los valores más altos ($P < 0.05$) de materia orgánica en si-si (Figura 2 y Cuadro 4), el cual es 1.5 veces superior que en no-no pueden estar relacionados con otros factores como texturas, temperaturas de la capa arable del suelo, exposición de terreno (rastreos y barbecho). La conclusión sería que en no-no las condiciones enunciadas resultan más conductivas a oxidación y, por ende, a menor acumulación de la materia orgánica en el suelo.

Para el pH de $_{sue}$ y $_{sub}$ no se encontraron diferencias estadísticas con análisis de varianza, y solo hubo diferencias estadísticas para pH_{sue} con la prueba de Mann-Whitney. Al respecto resulta destacar los coeficientes de variación y pruebas de normalidad de los datos (Cuadro 4) para pH_{sue} y pH_{sub} ; estos tuvieron distribución normal y coeficientes de variación bajos tanto en no-no como en si-si; el resto de los atributos del suelo tuvo valores de coeficientes de variaciones mayores al 20% y no presentaron distribución normal.

Aunque las diferencias entre tratamientos (no-no y si-si) se detectaron con pruebas paramétricas y no paramétricas sería recomendable seleccionar aquella que resulte más apropiada a la distribución de los datos y su variación inherente a la variable en cuestión. En cuanto a lo observado en el estudio, la estimación de diferencias en pH resulta más efectiva con el análisis de varianza; en el caso de contenido de $CaCO_3$ ambas pruebas detectan las diferencias, y aunque uno de los grupos (tratamiento) no tiene distribución normal (si-si) la R^2 del modelo en análisis de varianza tiene valores de 0.66 y 0.71 para $Cont\ CO_3$ en $_{sue}$ y $_{sub}$, respectivamente. Los coeficientes de variación para materia orgánica en análisis de varianza resultaron comparables con los de contenido de carbonatos, sin embargo, la R^2 del modelo tuvo valores muy bajos. Finalmente, para conductividad eléctrica resultó más apropiado el efectuar las comparaciones entre tratamientos mediante las pruebas de Mann-Whitney y Wilcoxon que con el análisis de varianza. Las pruebas de Mann-Whitney y Wilcoxon para dos muestras son análogas a la de análisis de varianza de un diseño completamente al azar con dos tratamientos. Como el número de repeticiones fue mayor que 20, el estadístico (ts) calculado con el procedimiento se comparó con la distribución t de Student para el cálculo de la probabilidad.

Cuadro 4. Atributos del suelo en dos condiciones de contenidos de carbonato de calcio (60 cm de profundidad) en el perfil del suelo. Llanura Costera de Tecomán, Colima. 1995.

Valor	Cont CO ₃ SUE	Cont CO ₃ SUB	pH SUE	pH SUB	CE SUE	CE SUB	Materia orgánica SUE	Cont Arc SUE	Cont Arc SUB
	----- % -----				--- ds M ⁻¹ ---			----- % -----	
Media									
no-no †	0.5 a +	0.6 a	7.88 a	7.89 a	0.76 a	0.65 a	2.28 a	8.86 a	6.97 a
si-si ‡	21.32 b	25.53 b	7.84 a	7.91 a	1.74 b	1.28 b	3.49 b	15.45 b	13.05 b
Desviación estándar									
no-no	0.5	0.8	0.32	0.29	1.68	1.59	1.28	6.11	5.80
si-si	9.17	9.83	0.28	0.24	2.32	2.24	1.56	9.67	9.88
Coef. variación									
no-no	3.29	3.49	4.10	3.73	19.02	108.24	56.15	69.01	83.22
si-si	43.01	38.52	3.54	3.05	151.39	322.04	44.77	62.58	75.66
Distrib. normal									
no-no	ns ++	ns	ns	ns	***	***	***	***	***
si-si	** +++	***	ns	ns	*	***	*	***	***
Mínimo									
no-no	0.0	0.0	7.0	7.2	0.27	0.28	0.2	2.14	1.4
si-si	4.8	3.9	7.3	7.4	2.69	0.36	0.0	1.42	0.78
Máximo									
no-no	1.0	1.0	8.5	8.4	4.87	5.08	5.9	33.98	38.98
si-si	35.0	40.0	8.5	8.4	13.40	12.29	8.0	47.34	50.34

†no-no = No carbonatos en 0 a 60cm; ‡ si-si = Carbonatos en todo el perfil (0 a 60 cm); + Comparación de medias entre tratamientos (p < 0.05); ++ ns = no significancia estadística; +++ *, **, *** Significancia a 0.05, 0.01 y 0.001, respectivamente.

Cuadro 5. Pruebas no paramétricas de Mann-Whitney y Wilcoxon. Llanura Costera de Tecomán, Colima. 1995.

	Mann-Whitney			Wilcoxon		
	Us	t	P	Us	t	P
Cont. CO ₃ SUE	14,476	13.21	4.4 e ⁻¹⁷	21,946	26.83	6.76 e ⁻¹⁸
Cont. CO ₃ SUB	14,382	13.54	1.17 e ⁻¹⁷	21,852	27.69	-3.75 e ⁻¹⁷
pH SUE	7,737	0.92	0.36	14,209	12.78	6.96 e ⁻¹⁷
pH SUB	7,441	0.37	0.78 ns	14,911	14.09	9.82 e ⁻¹⁷
CE SUE	11,544	7.86	9.89 e ⁻¹⁵	19,014	21.49	4.09 e ⁻¹⁷
CE SUB	11,153	7.14	1.73 e ⁻¹²	18,623	20.78	1.10 e ⁻¹⁶
Materia orgánica SUE	10,721	6.36	3.12 e ⁻¹⁰	18,191	19.99	-5.26 e ⁻¹⁷
Cont. arc SUE	9,488	5.87	5.96 e ⁻⁹	16,598	19.89	2.44 e ⁻¹⁷
Cont. arc SUB	9,811	6.51	1.21 e ⁻¹⁰	16,921	20.52	4.08 e ⁻¹⁷

n1 = 94 para no-no

n2 = 154 para si-si

Cuadro 6. Prueba paramétrica (ANOVA) para variables seleccionadas del suelo. Llanura Costera de Tecomán, Colima. 1995.

	CME†	F calc	P < 0.001	C.V. %	R ² Modelo
Cont. CO ₃ SUE	52.34	484.0	***	53.8	0.66
Cont. CO ₃ SUB	60.14	607.0	***	48.3	0.71
pH SUE	0.09	0.7	ns	3.8	0.003
pH SUB	0.07	0.2	ns	3.3	7.79 e ⁻⁴
CE SUE	0.54	73.8	***	304.1	0.23
CE SUB	0.48	55.4	***	9953.5	0.18
Materia orgánica SUE	2.15	39.5	***	48.2	0.14
Cont. arc SUE	72.65	33.0	***	65.6	0.12
Cont. arc SUB	73.81	27.6	***	79.6	0.11

† C.M.E. = Cuadrado medio del error; ns = no significativo; *** = significativo P < 0.001.

‡ g.l. error = 246 y R² = SS Modelo/SS Total.

CONCLUSIONES

1. En la llanura de Tecomán, los atributos del suelo mostraron gran variación horizontal, que se relaciona con el material parental y la topografía del terreno.
2. La variación horizontal más importante, por su implicación agronómica, es el contenido de carbonato de calcio del suelo; la materia orgánica, la conductividad eléctrica y el contenido de arcilla también mostraron considerable variación.
3. El dren Tecuanillo, que disecta la llanura costera en margen oriental y occidental, es el límite o frontera entre atributos del suelo.
4. Los suelos principales de la margen oriental son Calcisoles, Fluvisoles calcáricos, Kastanozem cálcicos y lúvicos y Vertisoles cálcicos. En la margen occidental los suelos dominantes son Phaeozem háplicos, Fluvisoles mólicos y Arenosoles háplicos.
5. El contenido de carbonato de calcio del subsuelo correlacionó ($P < 0.05$) significativamente con la materia orgánica, conductividad eléctrica y contenidos de arcilla y subsuelo.
6. Las diferencias estadísticas entre la margen oriental (suelo con carbonatos) y la margen occidental (sin carbonatos) se detectaron por ambos métodos estadísticos, paramétricos y no paramétricos.

LITERATURA CITADA

- Bridges, E. M. 1990 Soil horizon designations. Technical Paper 19. ISRIC, Wageningen, 111p.
- Buol, S.W., F.D. Hole y R.J. McCracken. 1989. Soil genesis and classification. 3rd ed. Iowa State Univ. Press, Ames.
- Climo, W. J. 1982. Qualitative assessment of soil structure using a flow diagram. *Journal of Agronomic Education* 11: 54-56.
- Chavira-R. J. Gpe y J. Castellanos-R. 1987. p. 109-124. *In: A. Aguilar-S et al.* (ed.) Análisis químico para evaluar la fertilidad del suelo. Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo. Chapingo, México.
- Day, P. R. 1965. Particle fractionation and particle-size analysis. p. 545-567. *In: C.A. Black et al.* (ed.) *Methods of Soil Analysis*. Part 1. Agron Monogr. 9. ASA, Madison, WI.
- Dikau, R. 1989. The application of a digital relief model to landform analysis in geomorphology. p. 51-77. *In: J. Raper* (ed.) *Three dimensional applications in geographic information systems*. Taylor and Francis, New York.
- Dow, A.I. y D.W. James. 1973. Intensive soil sampling. Washington Agricultural Experiment Station. Bulletin no. 781.
- Enriquez-R., S. Carbonatos. 1987. p. 124-131. *In: A. Aguilar-S. et al.* (ed.) Análisis químico para evaluar la fertilidad del suelo. Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo. Chapingo, México.
- FAO. 1991. Soil Resources. An explanatory note on the FAO World Soil Resources Map at 1:25 000 000 scale. World Soil Resources Report no. 66. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, Italy. 58 p.
- FAO-UNESCO-ISRIC. 1990. Soil map of the world. Revised Legend. Reprinted with corrections. World Soil Resources Report no. 60. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, Italy. 119p.
- Holmgren, G.G.S. 1973. Quantitative calcium carbonate equivalent determination in the field. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 37: 304-307.
- ICRISAT. 1994. ICRISAT NOW, sowing for the future. International Crops Research Institute for the Semi-Arid Tropics. Patancheru 502 324, Andhra Pradesh, India.
- INEGI. 1991. Tecomán, Cuaderno de información básica para la planeación municipal. Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática. Aguascalientes. México.
- Jenny, H. 1980. The soil resource: origin and behavior. *Ecol. Stud.* 37. Springer-Verlag, New York.
- Jenny, H. 1941. Factors of soil formation: A system of quantitative pedology. McGraw Hill, New York.
- King, C.A.M. 1982. Morphometry in glacial geology. p. 147-162. *In: D. Coates.* (ed.) *Glacial geomorphology. The Binghamton symposia in geomorphology: Int. Ser. no. 5.* Allen and Unwin, London.
- Kittrick, J. A. 1971. Montmorillonite equilibrium and the weathering environment. *Proc. Soil Sci. Soc. Am.* 35: 815-823.
- Knox, E.G. 1965. Soil individual soil classification. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 29: 79-84.
- McLean, E. O. 1982. Soil pH and lime requirement. p. 199-224. *In: A. L. Page et al.* (ed.) *Methods of soil analysis. Part 2.* 2nd ed. Agron. Monogr. 9. ASA and SSSA, Madison, WI.
- Moore, I.D. 1990. Geographic information systems for land and water management. p. 13-24. *In: Land use and declining water quality. Proc. Ann. Conf. Soil Water Assoc. Aust., Canberra 5-6 Nov. Soil Water Conserv. Assoc. Aust., West Pennant Hills, NSW.*
- Moore, I.D., G.J. Burch y D.H. Mackenzie. 1988. Topographic effects on the distribution surface soil water and the location of ephemeral gullies. *Trans. ASAE* 31: 1383-1395.
- Moore, I.D., Grayson y A.R. Ladson. 1991. Digital terrain modelling. A review of hydrological, geomorphological and biological applications. *Hidrol. Processes* 5: 3-30.
- Moore, I.D., A.K. Turner, J.P. Wilson, S.K. Jensen y L.E. Band. 1993. GIS and land surface-subsurface process modelling. *In: M.F. Goodchild et al.* (ed.) *Environmental modeling and GIS* Oxford Univ. Press., Oxford, England.
- Newhall, F. 1972. Calculation of soil moisture regimes from the climatic record. *Rev.* 4. Mimeographed. SCS/USPA, Washington, D.C. 17 p., 3 tables, 7 Figs.
- Pérez-Z., O. 1992. Los principales órdenes de suelos del estado de Colima. Quinta Reunión Científica Forestal y Agropecuaria. Centro de Investigaciones del Pacífico Centro Colima. SARH. México.
- Pérez-Z., O. 1993. Estudio preliminar de la precipitación pluvial mensual en el estado de Colima. Folleto Técnico no. 1. 24 p. Centro de Investigaciones del Pacífico Centro Colima. SARH. México.

- Pérez-Z., O. 1994. Suelos del estado de Colima: origen y limitaciones para su manejo. Folleto Técnico no. 2. 36 p. Centro de Investigaciones del Pacífico Centro Colima. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales y Agropecuarias. SARH. México.
- Pérez-Z., O. 1995. Producción de melón (*Cucumis melo* L.) en suelos mejorados con leguminosas, Sorgo forrajero y residuos de maleza. *Terra* 13: 360-368.
- Peterson, C. 1991. Precision GPS navigation for improving agricultural productivity. *GPS, World* 2: 38-44.
- Peterson, G.A., D.G. Westfall, L. Sherrod, E. Mcgee y R. Kolberg. 1991. Crop and soil management in dryland agroecosystems. Tech Bull. 91-1. Agric. Exp. Stn., Colorado State., Univ, Fort Collins.
- Robbins, C. W. 1985. The CaCO_3 - CO_2 - H_2O systems in soils. *Journal of Agronomic Education* 14: 6-11.
- Schnitzer, M. 1982. Organic matter characterization. p. 581-594. Part 2. 2nd ed. Agron. Monogr. 9. ASA and SSSA, Madison, WI.
- Seghal, J. y J. C. Battacharje. 1988. Typic vertisols of India and Iraq-their characterisation and classification. *Pedologie* 38: 67-69.
- Simonson, R.W. 1991. The U.S. soil survey- Contributions to soil science and its applications. *Geoderma* 48: 1-16.
- Soil Survey Staff. 1992. Keys to Soil Taxonomy. SMSS. Technical Monograph no. 19. fifth edition. Pocahontas Press, Inc. Blacksburg, Virginia, USA. 541 p.
- Speight, J.G. 1974. A parametric approach to landform regions. *Spec. Publ. Inst. Br. Geogra.* 7: 213-230.
- SPP. 1981. Síntesis geográfica del estado de Colima. Coordinación General de los Servicios Nacionales de Estadística, Geografía e Informática. Secretaría de Programación y Presupuesto. México, D.F. México.
- Stone, R.J., J.W. Gilliam, D.K. Cassel, R.B. Daniels, L.A. Nelson y H.J. Kleiss. 1985. Effect of erosion and landscape position on the productivity of Piedmont Soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 49: 987-991.
- Thien, J.S. 1979. A flow diagram for teaching texture-by-feel analysis. *Journal of Agronomic Education* 8: 54-55.
- Uehara, G., B.B. Trangmar. y R.S. Yost. 1985. Spatial variability of soil properties. p. 61-92. In: R. Nielsen and J. Bouma (ed.) *Soil Spatial variability*. Wageningen, Netherlands. PUDOC (Centre for Agricultural Publishing and Documentation).
- Vieira. S.R., D.R. Nielsen y J.W. Biggar. 1981. Spatial variability of field-measured infiltration rate. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 45: 1040-1048.
- Wierenga, P.J. 1985. Spatial variability of soil properties in irrigated soils. p. 112-125. In: R. Nielsen and J. Bouma (ed.) *Soil Spatial variability*. Wageningen, Netherlands. PUDOC (Centre for Agricultural Publishing and Documentation).
- Wilding, L.P. 1985. Spatial variability: its documentation, accommodation and implication to soil survey. p. 166-187. In: R. Nielsen and J. Bouma (ed.) *Soil Spatial variability*. Wageningen, Netherlands. PUDOC (Centre for Agricultural Publishing and Documentation).
- WRBSR. 1994. World References Base for Soil Resources. International Society of Soil Science- International Soil Reference and Information Centre- Food and Agriculture Organization of the United Nations. Wageningen/Rome.

VARIABILIDAD ESPACIAL DE LA CONDUCTIVIDAD ELECTRICA EN UN SUELO DEL ESTE DE CUBA.

II. ANALISIS GEOESTADISTICO

Spatial Variability of Electrical Conductivity in a Soil at the East of Cuba.

II. Geostatistical Analysis

Angel Utset Suástegui¹, María Elena Ruíz Pérez¹, Julián Herrera Puebla²

RESUMEN

Se estudia la estructura espacial de la conductividad eléctrica en una parcela del valle del Cauto, Cuba, a través de semivariogramas. De 0 a 20 cm de profundidad se encontró una variación no estacionaria, la cual se manifiesta fundamentalmente en la dirección este-oeste. De 40 a 60 cm existe una fuerte estructura espacial, que disminuye con la profundidad. La estructura espacial determinada se explica por las diferencias en los niveles de salinidad dentro de la parcela y en los diferentes suelos detectados en la misma y está relacionada con la microtopografía. Los cartogramas de salinidad, confeccionados a partir de kriging, permiten verificar esta relación.

Palabras clave: Salinidad del suelo, geoestadística, Cuba.

SUMMARY

The spatial structure of electrical conductivity in a plot at Cauto valley, Cuba, is studied through semivariograms. From 0 to 20 cm depth a non-stationarity variation was found, which is more evident in the east-west direction. There is a strong spatial structure from 40 to 60 cm, which decreases with depth. The spatial structure found can be explained by differences in salinity levels into the plot and between the various soils detected. This spatial structure is related to microtopography. Salinity maps, made by kriging, allow to verify this relationship.

¹Departamento de Física. Instituto Superior de Ciencias Agropecuarias de La Habana (ISCAH), Apartado Postal 18, San José de las Lajas, La Habana 31700, Cuba.

²Instituto de Investigaciones de Riego y Drenaje (IIRD), Apartado Postal 6090, Habana 6, Ciudad de La Habana, Cuba.

Aceptado: Febrero de 1996.

Index words: Soil salinity, Geostatistics, Cuba.

INTRODUCCION

Para conocer la salinidad de los suelos en un lugar dado y aplicar un manejo correcto del agua, es necesario confeccionar cartogramas de salinidad, lo cual conlleva a medir la conductividad eléctrica del suelo (CE). Esta propiedad posee comúnmente una gran variabilidad espacial, razón por la cual se requiere estudiar cuidadosamente el esquema de muestreo a seguir, es decir, definir cuántas mediciones tomar y dónde hacerlas. El esquema de manejo óptimo se puede obtener al caracterizar la variabilidad espacial de la CE.

En un estudio previo (Utset *et al.*, 1995) se realizó un análisis estadístico exploratorio de la variabilidad espacial de la CE en un Vertisol del valle del Cauto, al este de la isla de Cuba. En ese estudio se obtuvo que esta variabilidad se ajusta a una distribución de probabilidades lognormal. La CE en la superficie presenta bimodalidad, lo cual se relaciona con los dos tipos de suelo encontrados en la parcela (Utset *et al.*, 1995). En este análisis se consideró a la CE como una variable aleatoria. Un enfoque más adecuado es tratar a esta propiedad como una "variable regionalizada" y caracterizar su variabilidad espacial a partir de técnicas geoestadísticas (Journel y Huijbregts, 1978; Utset *et al.*, 1988; Warrick *et al.*, 1986). Estas técnicas permiten conocer la "estructura espacial" de la propiedad en cuestión, es decir, cómo se distribuyen los valores de dicha propiedad en la región analizada. Las técnicas geoestadísticas son relativamente de reciente aparición y no son muy utilizadas aún por los especialistas en suelo. Es por eso que en estos momentos se requiere divulgar sus particularidades y las ventajas que ofrece (Webster, 1994).

El objetivo del presente trabajo es determinar la estructura espacial de la conductividad eléctrica en una

parcela del valle del Cauto, utilizando técnicas geoestadísticas.

MATERIALES Y METODOS

Las características de la parcela experimental ya se describieron en un trabajo anterior (Utset *et al.*, 1995).

En la misma se encontraron dos suelos, distribuidos de acuerdo con la microtopografía: Vertisol, por encima de 39.5 m de altitud y Halosol, por debajo de esa cota. En la Figura 1 se ofrece un esquema topográfico de la parcela.

Se tomaron muestras de suelo en cuadrículas de 10 columnas y 12 filas, a 50 m de lado, a las profundidades de 0 a 20, 20 a 40, 40 a 60, 60 a 80 y 80 a 100 centímetros. La conductividad eléctrica (CE)

de la solución suelo:agua, relación 1:5, se determinó para cada muestra.

La herramienta fundamental de la geoestadística es la función semivarianza (Journel y Huijbregts, 1978; Vauclin, 1982; Warrick *et al.*, 1986 Webster, 1985), la cual puede estimarse por medio de la siguiente ecuación:

$$\gamma(h) = \frac{1}{2n(h)} \sum_{i=1}^{n(h)} [z(x_{i+h}) - z(x_i)]^2$$

donde $z(x_i)$ es el valor de la variable regionalizada z medido en el punto i , $z(x_{i+h})$ es el valor de la misma variable a una distancia h de ese punto y $n(h)$ es el número de pares de puntos separados a una distancia h .

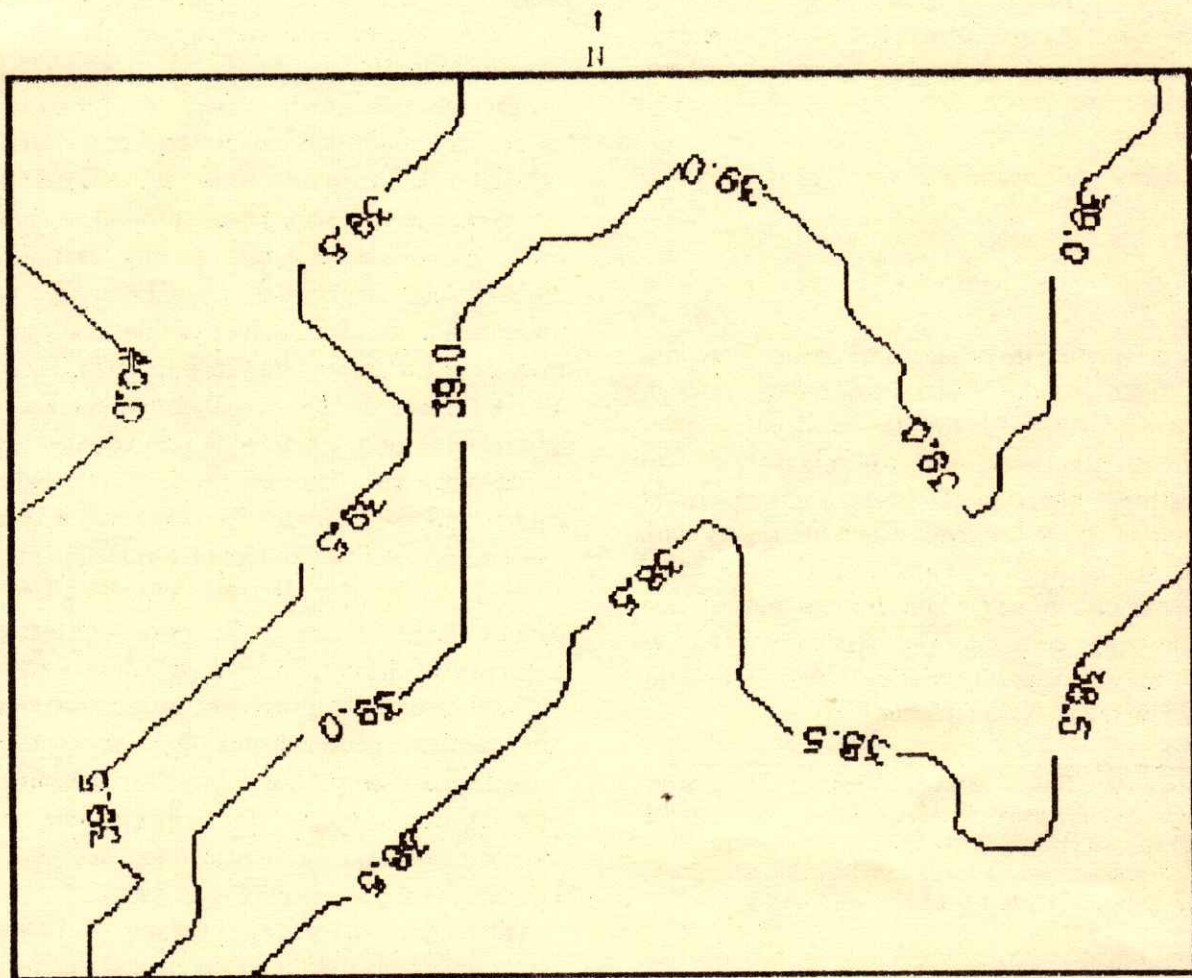


Figura 1. Esquema topográfico de la parcela: curvas de nivel, de 38.5 a 40 metros. El Vertisol se encuentra por encima de 39.5 m de altitud y el Halosol por debajo de esa cota.

Al gráfico de la semivarianza para distintas separaciones h (pasos) se le llama semivariograma. Los parámetros fundamentales del semivariograma son **nugget** o residuo (la menor semivarianza), **sill** o meseta (el valor asintótico a que tiende la semivarianza cuando aumenta h) y **range** o alcance del semivariograma, distancia para la cual se alcanza la meseta (Journel y Huijbregts, 1978; Warrick *et al.*, 1986; Webster, 1985). En particular, el alcance del semivariograma se considera como la distancia hasta la cual se encuentran correlacionados los valores de la propiedad estudiada (Journel y Huijbregts, 1978; Warrick *et al.*, 1986; Webster, 1985).

La geoestadística posee también una técnica de interpolación, conocida como **kriging** (Journel y Huijbregts, 1978; Warrick *et al.*, 1986; Webster, 1985), mediante la cual se estiman valores de la propiedad estudiada en los puntos no muestreados a partir de varios puntos medidos y del semivariograma de la propiedad ajustado a un modelo teórico. La estimación por kriging es local, pues se utilizan sólo las mediciones más cercanas al punto a estimar.

Para la determinación de la estructura espacial por el método geoestadístico se consideraron los siguientes pasos:

-Confección de los semivariogramas isotrópicos a cada profundidad (sin tener en cuenta la dirección).

-Determinación de los semivariogramas en las direcciones norte-sur (N-S), este-oeste (E-O), noreste-suroeste (NE-SO) y noroeste-sureste (NO-SE), a cada profundidad.

-Ajuste de los semivariogramas a modelos teóricos.

-Estimación de la CE a través del kriging.

-Confección de los cartogramas de salinidad a partir de la CE estimada por kriging.

Para la interpolación se utilizó el kriging de bloques (Webster, 1985), considerando para cada estimación las ocho mediciones más próximas.

RESULTADOS Y DISCUSION

En la Figura 2 se muestran los semivariogramas isotrópicos de la CE medida a todas las profundidades estudiadas. La semivarianza en la Figura 2 y en el resto de los semivariogramas de la CE que se presentarán, se encuentra en $dS^2 m^{-2}$ y está dibujada contra la distancia en metros hasta una separación máxima de 400 metros. Los puntos en los semivariogramas corresponden al valor calculado de la

semivarianza y la curva continua señala el modelo teórico ajustado.

En el Cuadro 1, por otra parte, se presentan los valores del residuo, meseta y el alcance; así como el modelo ajustado a cada uno de los semivariogramas determinados.

En la Figura 2A (0 a 20 cm) la semivarianza aumenta monótonamente con la distancia y el semivariograma correspondiente se ajustó a un modelo lineal (Cuadro 1). Esto significa que todos los valores se encuentran correlacionados y el alcance mínimo, de acuerdo con el semivariograma, es de 400

Cuadro 1. Modelos, residuos, mesetas y alcances de los semivariogramas de la conductividad eléctrica, para cada una de las profundidades y direcciones estudiadas.

Profundidad cm	Dirección	Modelo	Residuos ----- $dS^2 m^{-2}$ -----	Mesetas	Alcance m
0 a 20	Isot.	Lineal	6.0	14.0	400
	E-O	Lineal	6.0	16.0	400
	NE-SO	Esf.	3.0	11.0	150
	N-S	Esf.	3.0	10.5	300
20 a 40	NO-SE	Esf.	0.0	10.0	150
	Isot.	Esf.	2.5	7.5	150
	E-O	Lineal	3.0	11.0	400
	NE-SO	Esf.	4.0	8.0	120
40 a 60	N-S	Esf.	2.0	6.5	200
	NO-SE	Esf.	2.0	6.5	100
	Isot.	Esf.	3.4	6.0	320
	E-O	Lineal	4.6	6.7	400
60 a 80	NE-SO	Esf.	2.0	6.5	170
	N-S	Esf.	1.2	4.4	120
	NO-SE	Esf.	3.2	5.9	250
	Isot.	Esf.	1.5	4.0	150
80 a 100	E-O	Esf.	0.8	4.8	120
	NE-SO	Esf.	2.5	4.5	150
	N-S	Esf.	1.5	3.5	200
	NO-SE	Esf.	1.0	5.0	250
0 a 100	Isot.	Esf.	1.3	4.3	220
	E-O	Esf.	2.5	3.5	300
	NE-SO	Esf.	3.0	4.2	150
	N-S	Gauss.	1.8	3.3	200
0 a 100	NO-SE	Gauss.	3.0	4.8	300
	Isot.	Esf.	1.0	4.1	180
	E-O	Lineal	3.0	5.5	400
	NE-SO	Esf.	0.0	4.5	210
0 a 100	N-S	Esf.	0.5	3.3	200
	NO-SE	Esf.	1.0	4.5	150

Isot. = Isotrópico; Esf. = Esférico.

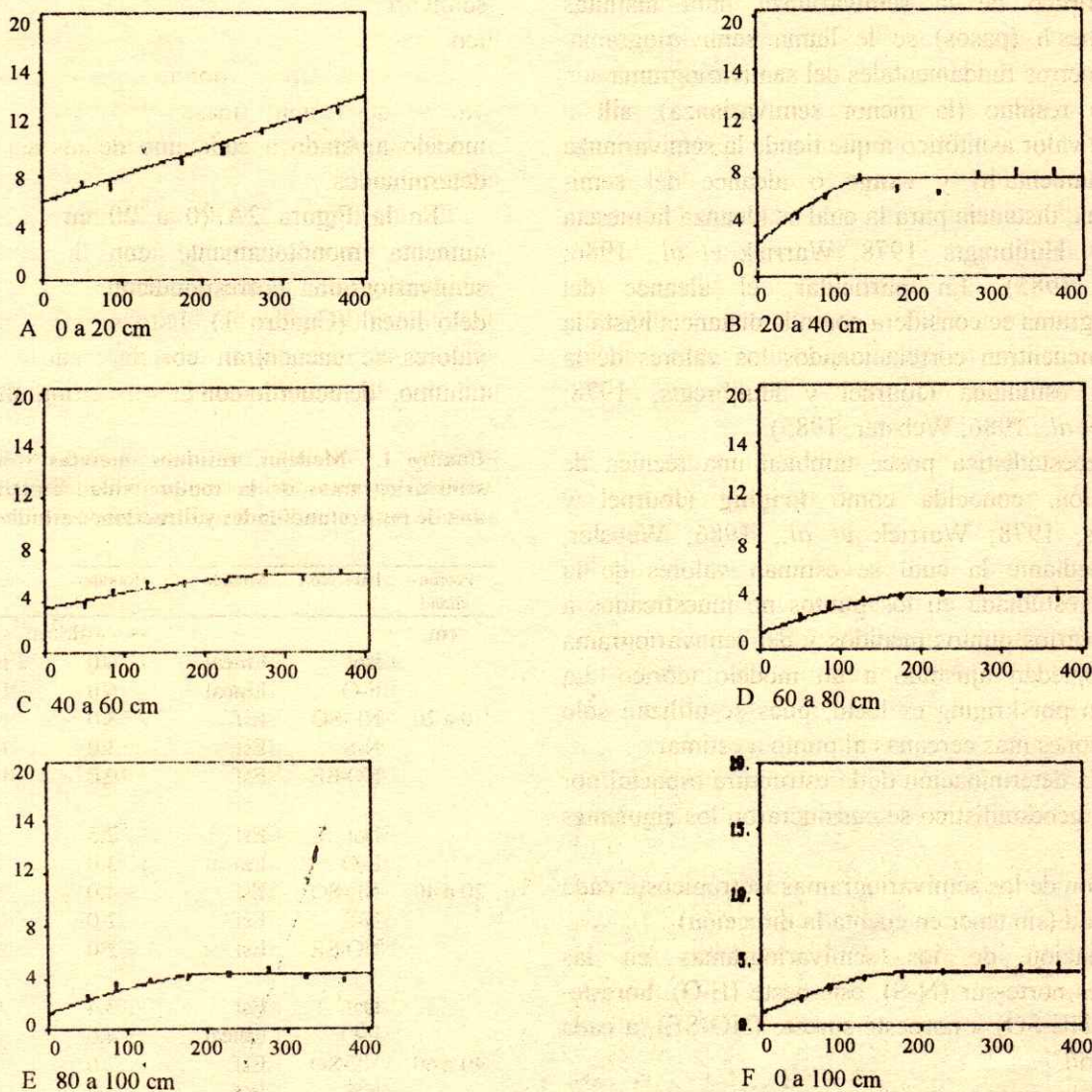


Figura 2. Semivariogramas de la conductividad eléctrica obtenidos a cada profundidad sin considerar la dirección de separación (isotrópicos). Abscisas: Distancia de separación (m). Ordenadas: Semivarianza (dS² m⁻²).

metros (Journel y Huijbregts, 1978; Warrick *et al.*, 1986; Webster, 1985). Cuando la semivarianza tiene este comportamiento la serie de mediciones no posee una varianza finita, ni resulta estacionaria de segundo orden. No obstante, cumple aún con la estacionaridad débil o hipótesis intrínseca de la geostatística (Journel y Huijbregts 1978; McBratney y Webster, 1986).

En la Figura 2B (20 a 40 cm) no se observa la variación lineal encontrada en la Figura 2A. En este caso la semivarianza alcanza la meseta para 150 m (alcance), por lo tanto se consideran correlacionados entre sí los valores de la CE a las distancias menores que la señalada.

En las Figuras 2C (40 a 60 cm), 2D (60 a 80 cm) y 2E (80 a 100 cm) tampoco se observa linealidad en los semivariogramas y la diferencia entre la meseta y el residuo es muy pequeña (Cuadro 1). Cuando esta diferencia es pequeña se dice que el semivariograma refleja una débil o pobre estructura espacial (Journel y Huijbregts, 1978; Warrick *et al.*, 1986; Webster, 1985). En particular, cuando la meseta y el residuo casi coinciden, el semivariograma indica un efecto "residual puro" y las mediciones son todas independientes entre sí (Journel y Huijbregts, 1978; Warrick *et al.*, 1986; Webster, 1985). De acuerdo con lo anterior, y como se observa en la Figura 2 y en el Cuadro 1, la estructura espacial es fuerte en la

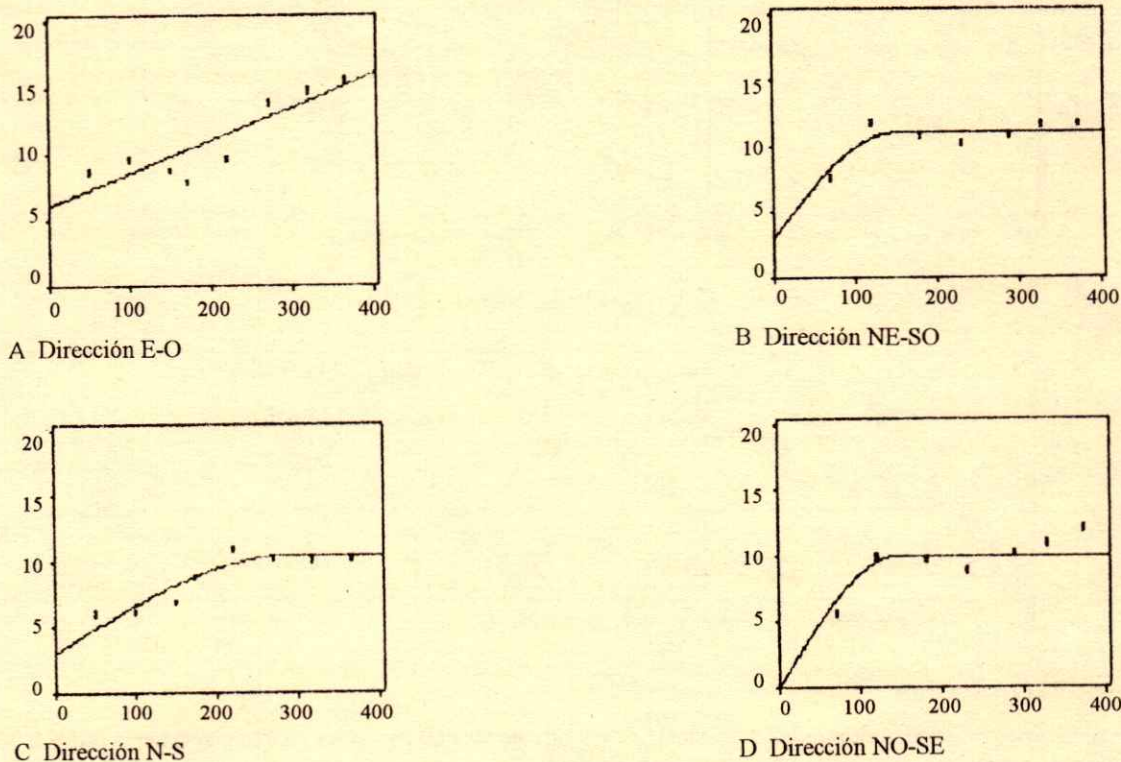


Figura 3. Semivariogramas de la conductividad eléctrica medida de 0 a 20 cm en las cuatro direcciones fundamentales. Abscisas: Distancia de separación (m). Ordenadas: Semivarianza ($\text{dS}^2 \text{m}^{-2}$).

superficie y se hace más débil a mayor profundidad. Esto se relaciona con las diferencias en la salinidad de la parcela. Las variaciones son mayores de 0 a 20 cm, pues a esta profundidad el Vertisol no es salino, mientras en el Halosol se alcanzan elevados valores de salinidad. Este resultado concuerda con la bimodalidad encontrada en los histogramas del logaritmo de la CE, según lo expuesto por Utset *et al.* (1995). Conforme aumenta la profundidad, disminuyen las diferencias entre los suelos, por lo que de 60 a 80 y de 80 a 100 cm prácticamente no aparece estructura espacial, y el semivariograma refleja un efecto residual puro. Esto también corresponde con los histogramas presentados previamente para esas profundidades (Utset *et al.*, 1995), los cuales mostraron una mayor homogeneidad.

La estructura espacial encontrada anteriormente corresponde a la de los semivariogramas isotrópicos, es decir, considerando sólo la distancia de separación. Sin embargo, a partir de la determinación de semivariogramas direccionales, es posible evaluar en qué dirección se produce la mayor variación espacial de la CE. En la Figura 3 se muestran

los semivariogramas obtenidos de 0 a 20 cm de profundidad en las direcciones E-O, NE-SO, N-S y NO-SE.

En la Figura 3A (E-O) se observa la no estacionaridad reflejada en el semivariograma isotrópico pero, a diferencia de la Figura 2A, el aumento de la semivarianza comienza a partir de una separación de 200 metros.

En las Figuras 3B (NE-SO), 3C (N-S) y 3D (NO-SE) los datos se ajustaron a modelos esféricos y, por lo tanto, la variabilidad espacial de la CE en esas direcciones puede considerarse estacionaria de segundo orden (McBratney y Webster, 1986).

Al observar la Figura 1, puede notarse que en la dirección E-O existe una fuerte pendiente al centro de la parcela, pues las curvas de nivel están próximas entre sí. Esta también es la dirección en la que se produce el cambio más brusco de los suelos de la parcela, pues el Vertisol (por encima de 39.5 m de altitud) representa una franja en la dirección N-S en el extremo NO de la parcela. La no estacionaridad encontrada en la variación espacial de la CE en la

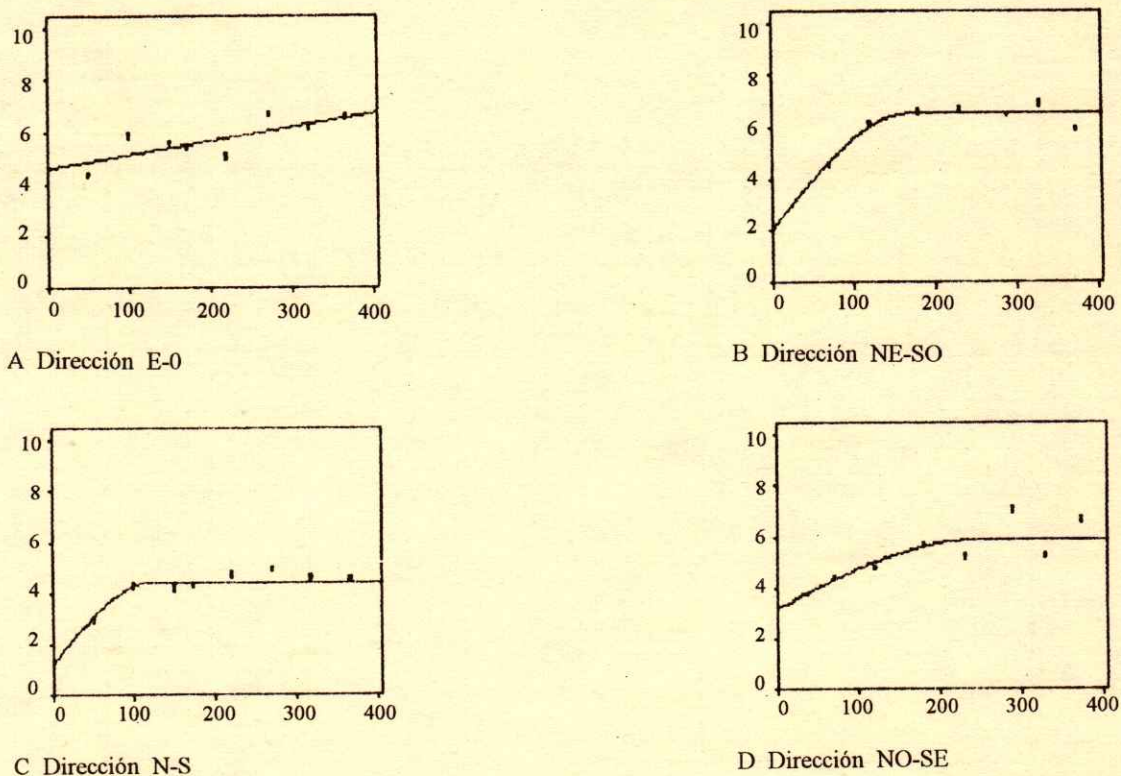


Figura 4. Semivariogramas de la conductividad eléctrica medida de 40 a 60 cm en las cuatro direcciones fundamentales. Abscisas: Distancia de separación (m). Ordenadas: Semivarianza ($dS^2 m^{-2}$).

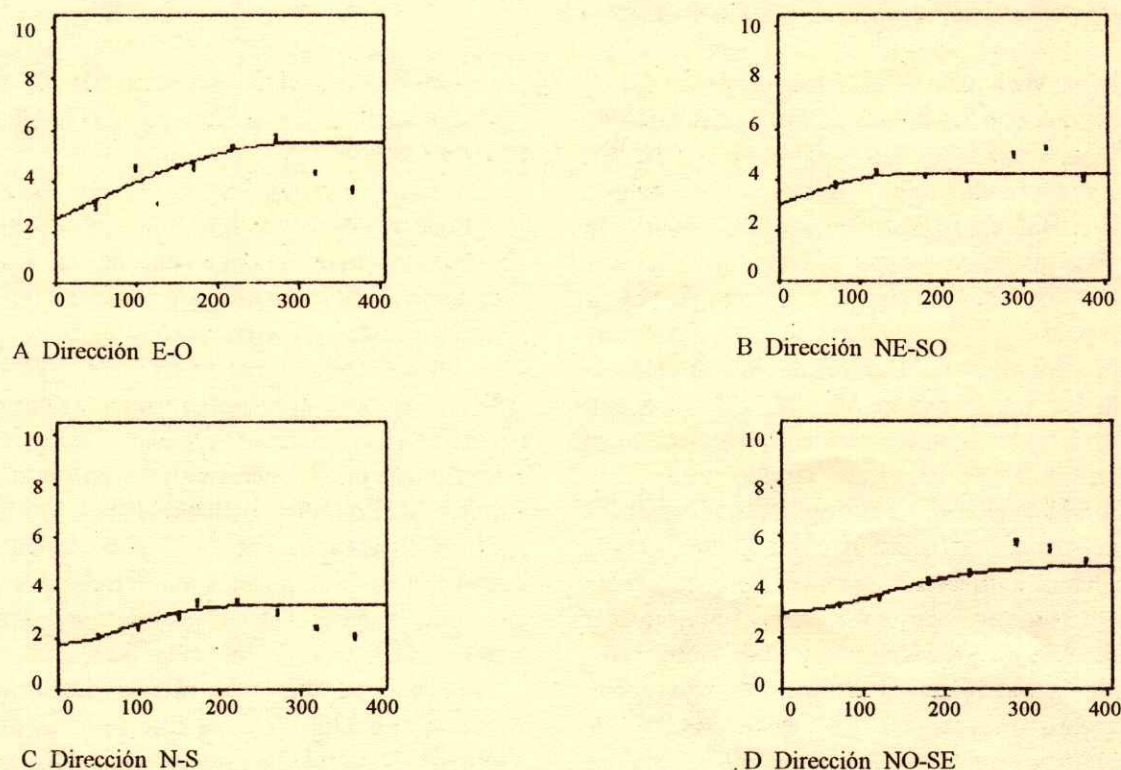


Figura 5. Semivariogramas de la conductividad eléctrica medida de 80 a 100 cm en las cuatro direcciones fundamentales. Abscisas: Distancia de separación (m). Ordenadas: Semivarianza ($dS^2 m^{-2}$).

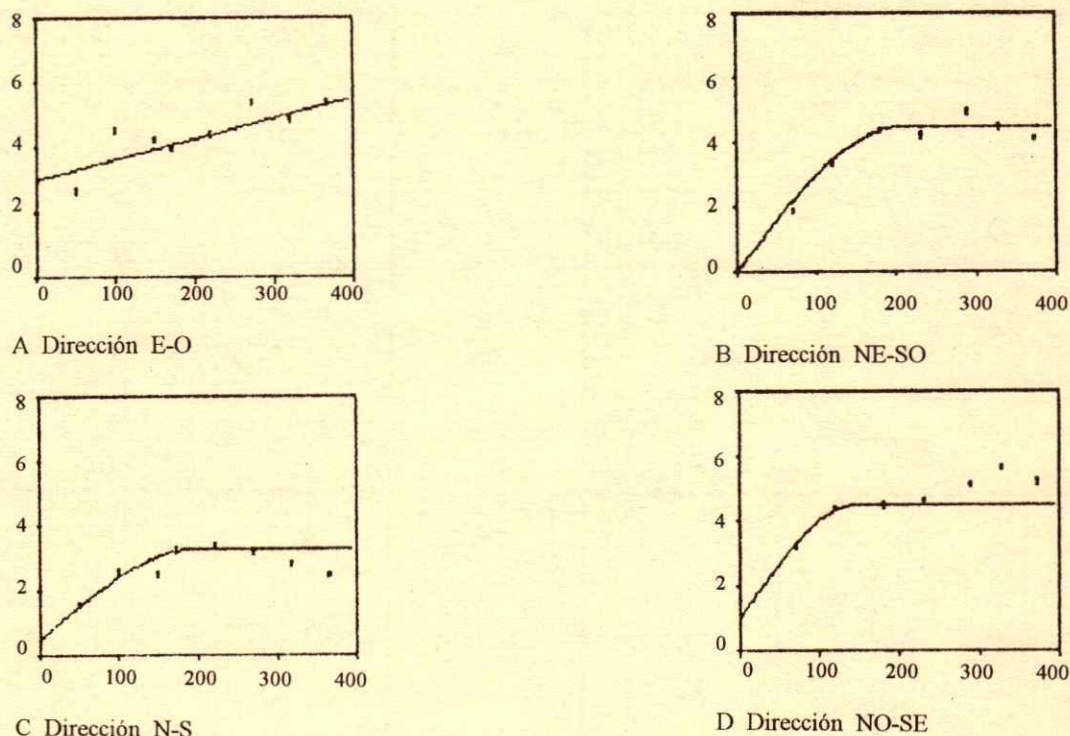


Figura 6. Semivariogramas de la conductividad eléctrica del promedio del perfil en cada una de las cuatro direcciones fundamentales. Abscisas: Distancia de separación (m). Ordenadas: Semivarianza ($dS^2 m^{-2}$).

dirección E-O, y reflejada en los semivariogramas de la Figura 3, está relacionada, por lo tanto, con el cambio del tipo de suelo, lo cual, a su vez, se relaciona con la microtopografía y la ascensión por capilaridad de las sales desde el acuífero (Utset *et al.*, 1995).

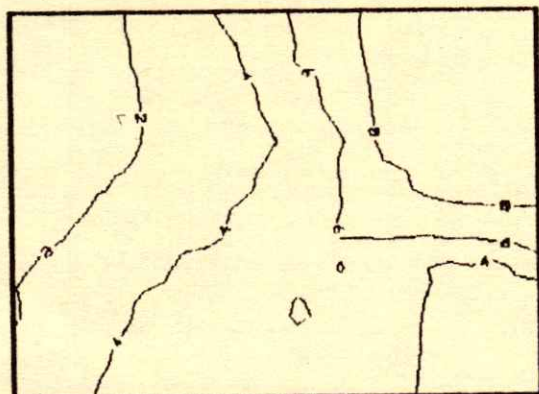
Los semivariogramas de la CE de 40 a 60 cm en las cuatro direcciones consideradas se muestran en la Figura 4. En la dirección E-O (Figura 4A) vuelve a encontrarse el aumento monótono lineal de la semivarianza. En las otras direcciones, el semivariograma se ajustó a un modelo esférico. Esto indica que de 40 a 60 cm de profundidad todavía existe una estructura espacial de la CE relacionada con la altura del acuífero y la microtopografía. No obstante, si se comparan las Figuras 3A y 4A puede notarse que la pendiente del modelo lineal ajustado al semivariograma en este último caso es algo menor que de 0 a 20 centímetros. Esto se debe a que la estructura espacial de 0 a 20 cm es más fuerte que de 20 a 40 centímetros.

Los semivariogramas direccionales de la CE de 80 a 100 cm de profundidad se ofrecen en la Figura 5. En este caso, los semivariogramas reflejaron

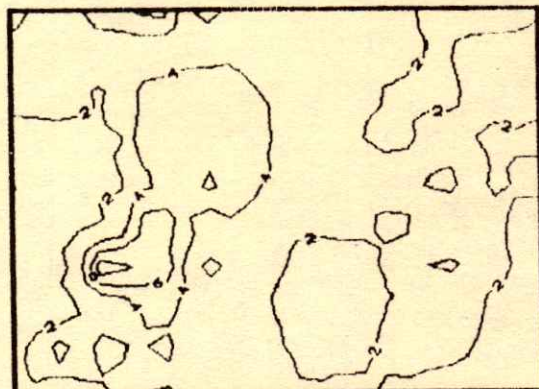
estacionaridad en todas las direcciones consideradas y las diferencias meseta-residuo fueron muy pequeñas (Cuadro 1). Todo esto indica que a esta profundidad la estructura espacial de la CE es considerablemente más débil que de 0 a 20 centímetros.

La pobre estructura espacial encontrada en el semivariograma en la dirección E-O de 80 a 100 cm de profundidad se debe al efecto homogeneizador del acuífero y a la eliminación de las diferencias entre los suelos encontrados en la parcela (Utset *et al.*, 1995).

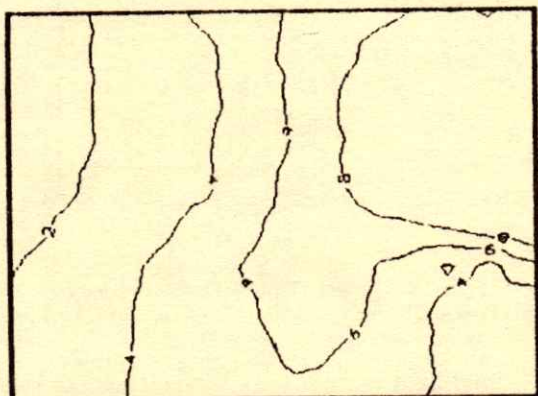
En la Figura 6 se muestran los semivariogramas direccionales correspondientes a todo el perfil (0 a 100 centímetros). En la dirección E-O (Figura 6A) el semivariograma se ajustó a un modelo lineal, lo cual indica que aunque de 60 a 80 y de 80 a 100 cm se reportó estacionaridad en esa dirección, el promedio de todo el perfil no la posee. No obstante, la pendiente del semivariograma de la Figura 6A es mucho menor que la correspondiente de 0 a 20 cm de profundidad (Figura 3A). En el resto de las direcciones, los semivariogramas de la Figura 6 se ajustaron a modelos esféricos, sin presentar ninguno una notable estructura espacial. Todo esto indica que, como promedio, puede notarse las diferencias entre el Vertisol y el Halosol,



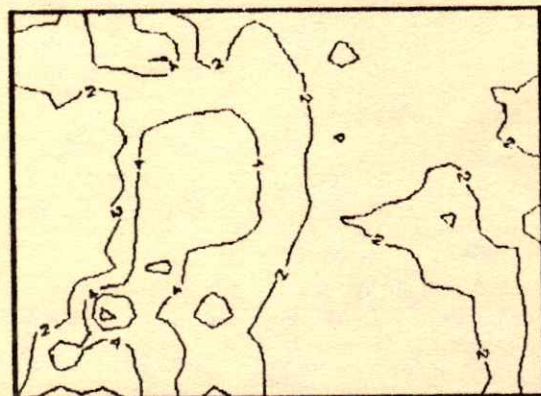
A 0 a 20 cm



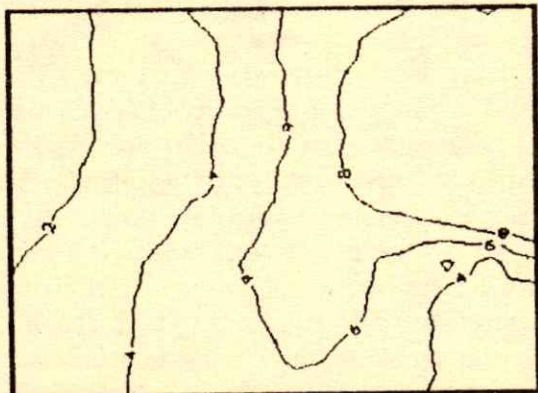
D 80 a 100 cm



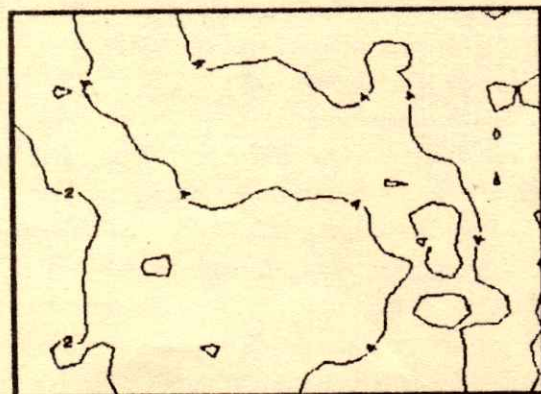
B 20 a 40 cm



E 80 a 100 cm



C 40 a 60 cm



F 0 a 100 cm

Figura 7. Cartogramas de salinidad. Las isóneas de la conductividad eléctrica fueron generadas cada 2 dS m^{-1} .

aunque la estructura espacial encontrada es menos fuerte que de 0 a 20 centímetros.

De acuerdo con los alcances encontrados, las mediciones de la CE pueden tomarse separadas entre sí a 100 ó a 150 metros. Si estas mediciones se realizan a menores distancias de separación constituirían en la

práctica una misma medición, ya que están correlacionadas (Nielsen *et al.*, 1983).

Al realizar el kriging se estimó la CE en 480 bloques de 25×25 metros. En la Figura 7 se ofrecen los cartogramas de salinidad confeccionados a partir del kriging. En la Figura 7A (0 a 20 cm) puede notarse

que la salinidad en la parcela aumenta de oeste a este, tal como se reflejó en el semivariograma. La CE en el extremo oeste de la parcela es menor que 4 dS m^{-1} , por lo que esa zona puede considerarse no salina. Esta es la parte alta de la parcela y coincide con el Vertisol, que se encuentra arriba de 39.5 m de altitud.

En el resto de los cartogramas (Figuras 7B a 7E) la CE es menor que de 0 a 20 centímetros. En particular, de 60 a 80 y de 80 a 100 cm, la zona menos salina no corresponde con el Vertisol (extremo noroeste de la parcela), tampoco resulta evidente en esos cartogramas el aumento de la CE de oeste a este, como ocurre de 0 a 20 y de 20 a 40 cm de profundidad.

CONCLUSIONES

La CE muestra una fuerte estructura espacial de 0 a 20 cm de profundidad, relacionada con los cambios en la salinidad, que corresponden, a su vez, a los cambios del microrrelieve y del nivel del acuífero. La estructura espacial disminuye con la profundidad, debido a que la ascensión de las sales desde el acuífero elimina las diferencias en la CE dentro de la parcela.

Todo esto indica que los muestreos de suelo para medir la CE no deben realizarse en forma aleatoria, sino siguiendo las características de la región

estudiada, fundamentalmente cambios de suelo y microtopografía.

LITERATURA CITADA

- Journel, A.G. y Ch. Huijbregts. 1978. Mining geostatistics. Academic Press, London.
- McBratney, A. y R. Webster. 1986. Choosing functions for semivariograms of soil properties and fitting them to sampling estimates. *J. Soil Sci.* 37: 617-639.
- Nielsen, D.R., P.M. Tillotson y S.R. Vieira. 1983. Analyzing field measured soil-water properties. *Agric. Water Manag.* 6: 93-109.
- Utset, A., María Ruíz y J. Herrera. 1989. Estructura espacial de las propiedades del suelo. II. Semivarianza y semivariograma. *Cienc. de la Agric.* 37-38: 119-123.
- Utset, A., María Ruíz y J. Herrera. 1995. Variabilidad espacial de la conductividad eléctrica en un suelo del este de Cuba. I. Análisis estadístico exploratorio. *Terra* 13: 126-135.
- Vauclin, M. 1982. Méthodes d'étude de la variabilité spatiale des propriétés d'un sol. In: *Memorias de Variabilité spatiale des processus de transfert dans les sols.* Avignon, Francia.
- Warrick, A.W., D.E. Myers y D.R. Nielsen. 1986. Geostatistical methods applied to soil science. *Agronomy 9/*. Soil Science Society of America, Madison, Wisconsin, USA.
- Webster, R. 1985. Quantitative spatial analysis of soil in the field. *Adv. Soil Sci.* 3: 1-70.
- Webster, R. 1994. The developments of pedometrics. *Geoderma* 62: 1-15.

LA TRANSPIRACION COMO UN INDICADOR FISIOLÓGICO DEL INICIO DE SEQUÍA EN FRIJOL

Transpiration as Physiological Index of Initial Drought in Common Bean

Marco Antonio Gutiérrez C.¹, Alfonso Larqué-Saavedra y Carlos A. Ortiz S.

RESUMEN

El "inicio de sequía" fisiológica en frijol definido como la transpiración de medio día que alcanza valores de 1 a 0 $\mu\text{g H}_2\text{O cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$ y que afecta el rendimiento agronómico, fue cotejado en una serie de experimentos con el cultivar Michoacán 12A3, resistente a sequía. Las plantas se cultivaron en maceta-invernadero, maceta-campo y campo, y al inicio de la floración el riego se suspendió. La transpiración se estimó con un porómetro en el foliolo central de la última hoja expuesta, entre las 12 y las 14 horas. De forma simultánea, se estimaron los valores de potencial de agua del suelo y la planta, así como el contenido relativo de agua de la planta. Al término del tratamiento de suspensión del riego, las plantas se regaron nuevamente a capacidad de campo y se mantuvieron en óptimas condiciones hasta la cosecha. Los resultados indican que el parámetro propuesto para las plantas en el tratamiento maceta-invernadero y maceta-campo, afectó el rendimiento agronómico. Para el primer caso, se redujo en 14 % el rendimiento y en 30 % el número de vainas y semillas en comparación con el control; para el segundo caso, el rendimiento disminuyó en 35 %. El experimento de campo no permitió el cotejo del parámetro propuesto a pesar de que los potenciales de agua del suelo fueron inferiores a -1.5 Mpa (0 a 60 cm). Los resultados se discuten con base en la necesidad de mayores evidencias experimentales sobre el tema.

Palabras clave: Sequía, frijol, transpiración, potencial de agua, rendimiento.

SUMMARY

The physiological "initiation of drought" in beans, defined as the noon transpiration rate that

¹ Programa de Botánica y de Edafología, Instituto de Recursos Naturales, Colegio de Postgraduados, Montecillo, Méx.

Aceptado: Junio de 1996.

reaches values of 1 to 0 $\mu\text{g H}_2\text{O cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$ that affect agronomic yield was tested in a series of experiments using a drought resistant cultivar Michoacán 12A3. The plants were cultivated in pots in the greenhouse or in the field or planted in the field. Water irrigation was withheld at the initiation of the flowering stage. Transpiration was determined between 12 and 14 h with a steady state porometer in the central leaflet of the last leaf and simultaneously soil and plant water potential measurements were estimated as well as relative water content. At the end of the water shortage treatment the plants were watered again to field soil capacity and kept in such condition until harvest. Results showed that the proposed parameter for the bean plants grown in pots in greenhouse or in the open was accomplished. For the former harvest diminished 14 % as well as pods and seed number in 30 % in comparison with the control plants. Under field conditions the treatment initiation of drought was not reached even though soil water potential was below -1.5 Mpa (0 to 60 cm). Results are discussed in relation to the need to have further experimental evidences to support the proposal.

Index words: Drought, bean, transpiration, water potential, yield

INTRODUCCION

Sequía es un término que se define según el área del conocimiento o el investigador interesado en el campo; la FAO ha publicado en la revisión sobre el tema, numerosas definiciones que permiten enmarcar las diferentes opiniones al respecto (Larqué-Saavedra, 1983). Para el caso de organismos vegetales, Dwyer y Stewart (1984) indican que es la planta la que integra el medio ambiente por lo que mediciones del estado hídrico de la planta podrían ser los mejores indicadores de la sequía.

Larqué-Saavedra (1983) define sequía como una reducción del agua en el suelo o de la presión de vapor ambiental que afecta los procesos fisiológicos de

los organismos vegetales. Sin embargo, esta definición no alcanza a explicar aquella sequía que además de alterar los procesos fisiológicos tenga repercusión en el rendimiento agronómico, por lo que Larqué-Saavedra *et al.* (1984) propusieron que la transpiración podría utilizarse como una medida que indicara el inicio de sequía que se correlacionara con el rendimiento agronómico.

La propuesta señala que la sequía que afecta el rendimiento agronómico en frijol cultivar Cacahuete 72 es aquella que se inicia cuando después de suspender el riego, durante la etapa de floración, la transpiración de medio día del foliolo central de la última hoja expuesta se reduce a valores entre 1 y 0 $\mu\text{g H}_2\text{O cm}^{-2} \text{s}^{-1}$.

El presente trabajo se llevó a cabo con el objeto de cotejar si la propuesta hecha en 1984 para inicio de sequía, podría reproducirse en otro cultivar de frijol, que tuviera características de ser resistente a la sequía y en diferentes condiciones experimentales.

MATERIALES Y METODOS

Se realizaron tres experimentos en los terrenos experimentales del interior de la ex hacienda de Chapingo, estado de México, utilizando frijol (*Phaseolus vulgaris*) cultivar Michoacán 12A3. Las semillas se sembraron en macetas o directamente en el campo. Las características del suelo utilizado tanto para las macetas como en campo, indican que es un suelo ligeramente ácido (pH de 6.7 a 6.9), sin problemas de sales, con textura en campo Fr y en invernadero de Fa con valores de materia orgánica en campo de 9.7 % y en el suelo de invernadero de 6.2 % (Samaniego, 1988; Larqué-Saavedra *et al.*, 1985).

La transpiración se determinó con un porómetro (Steady state, LICOR 1600) en el foliolo central de la última hoja madura de cada planta. El potencial de agua se midió con una bomba de Schollander o por medio de un psicrómetro (Wescor, Inc.). La metodología utilizada fue descrita previamente (Larqué-Saavedra y Trejo, 1990). Las lecturas y tomas de muestras se hicieron entre las 12 y las 14 horas.

Experimento 1

Se realizó en macetas con una capacidad de 6 kg de suelo y las plantas se cultivaron en el invernadero, con un diseño completamente al azar con 25

repeticiones. Se aplicaron dos tratamientos (riego y sequía). El tratamiento de suspensión de riego se dio al inicio de la floración (cuando 75 % de las plantas presentaban por lo menos una flor), hasta que las plantas transpiraban entre 1 y 0 $\mu\text{g H}_2\text{O cm}^{-2} \text{s}^{-1}$. Al llegar a este valor las plantas, se les determinaba el potencial de agua y componentes, así como el suelo, se regaban a capacidad de campo y se mantenían en buenas condiciones de humedad hasta la cosecha el tratamiento de riego. Siempre se mantuvo en buenas condiciones de humedad. Al llegar el momento de cosechar, se valoraron el rendimiento y sus componentes.

Experimento 2

Se llevó a cabo en forma semejante al experimento anterior, con la diferencia de que las macetas se colocaron en el campo y las plantas cultivadas en él.

Experimento 3

En éste, las semillas se depositaron en el suelo y se sembraron en surcos en forma usual. Se tuvieron parcelas de 1 m^2 con una densidad de población equivalente a 240 mil plantas por hectárea. Las parcelas se protegieron de la lluvia con una cubierta de plástico colocada a una altura de un metro. Los tratamientos fueron: parcelas bajo riego (tres) y parcelas bajo sequía (dos).

RESULTADOS Y DISCUSION

En los tres experimentos, los valores de humedad del suelo en el momento de aplicar los tratamientos de suspensión del riego anduvieron siempre por abajo por el punto de marchitez permanente (menor que -1.5 Mpa).

Experimento 1

Los resultados obtenidos del primer experimento en condiciones de maceta-invernadero mostraron que es posible después de suspender el riego lograr que las plantas cierren prácticamente sus estomas. Los valores de transpiración, conductancia y resistencia estomática se presentan en el Cuadro 1. Los valores de resistencia y conductancia se presentan con el objeto de enfatizar los resultados de la presente investigación.

Cuadro 1. Valores de las variables fisiológicas y de rendimiento evaluadas en frijol Michoacán 12A3 en los dos tratamientos aplicados en el experimento de maceta-invernadero. Cada valor es la media de 20 repeticiones.

Tratamiento	Variables evaluadas										
	Transpiración	Resistencia estomática	Conductancia estomática	Planta		Suelo		Vainas por planta	Granos por vaina	Granos por planta	Peso de grano por planta
	$\mu\text{g H}_2\text{O cm}^{-2}\text{s}^{-1}$	s cm^{-1}	cm s^{-1}	Ψ^w	Ψ^s	Ψ^p	Ψ^w suelo	Mpa			g
Riego (100% de transpiración)	6.75 a	3.59 a	0.278 a	-0.186a	-1.040 a	0.854a	0.261a		3.77a	65.39a	9.82a
Sequía (Transpiración $\leq 1 \mu\text{g H}_2\text{O cm}^{-2}\text{s}^{-1}$)	0.72 b	31.95 b	0.031 b	-0.324b	-1.095a	0.771a	1.088 b		3.42 a	47.22 b	8.43 a

Nota: Promedios con la misma letra dentro de columnas son estadísticamente iguales. Duncan (0.05).

Cuadro 2. Valores de las variables fisiológicas y de rendimiento evaluadas en frijol Michoacán 12A3 en los dos tratamientos aplicados en el experimento de maceta-campo. Cada valor es la media de 20 repeticiones.

Tratamiento	Variables evaluadas										
	Transpiración	Resistencia estomática	Conductancia estomática	Planta		Suelo		Vainas por planta	Granos por vaina	Granos por planta	Peso de granos por planta
	$\mu\text{g H}_2\text{O cm}^{-2}\text{s}^{-1}$	s cm^{-1}	cm s^{-1}	Ψ^w	Ψ^s	Ψ^p	Ψ^w suelo	Mpa			g
Riego (100% de transpiración)	12.73 a	0.97 a	1.033 a	-0.185a	-1.156a	0.971 a	0.164a		4.63 a	45.50 a	7.85 a
Sequía (Transpiración $\leq 1 \mu\text{g H}_2\text{O cm}^{-2}\text{s}^{-1}$)	0.81 b	34.6 b	0.028 b	-0.880b	-1.300a	0.220b	1.669 b		3.69 a	27.00 b	5.10 b

Nota: Promedios con la misma letra dentro de columnas son estadísticamente iguales. Duncan (0.05).

Cuadro 3. Valores de transpiración, resistencia y conductancia estomática encontrados en frijol Michoacán 12A3 en los tratamientos de riego y sequía en campo (experimento 3). Cada valor es la media de 14 repeticiones.

Tratamiento	Transpiración $\mu\text{g H}_2\text{O cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$	Resistencia estomática s cm^{-1}	Conductancia estomática cm s^{-1}
Riego	9.41 a	2.67 a	0.374 a
Sequía	3.51 b	8.28 b	0.121 b

Nota: Promedios con la misma letra dentro de columnas son estadísticamente iguales. Duncan (0.05)

Cuadro 4. Componentes del rendimiento analizados en frijol Michoacán 12A3 en los dos tratamientos aplicados en el experimento de campo. Cada valor es la media de 20 repeticiones.

Tratamiento	Vainas por planta	Granos por vaina	Granos por planta	Peso de granos por planta g
Riego 1	28.50a	4.49a	93.65a	14.31a
Riego 2	35.00a	4.69a	126.90a	19.64a
Riego 3	43.30a	4.76a	159.05a	26.21a
Sequía 1	23.65a	5.11a	101.60a	17.93a
Sequía 2	24.05a	4.96a	92.85a	17.74a
C.V.	20.07	3.10	23.45	25.39

Nota: Promedios con la misma letra dentro de columnas son estadísticamente iguales. Duncan (0.05).

Independientemente de los valores antes señalados, también se presentan los valores de relaciones hídricas. Como se puede anotar en el Cuadro 1, los resultados de potenciales de agua de la planta y del suelo fueron los que se afectaron significativamente, en tanto que los referentes a potenciales de solutos, de turgencia y contenido relativo de agua no fueron alterados de igual manera, aunque la tendencia se mantuvo similar a la reportada por Kanemasu y Tanner, 1969 y Turner, 1974.

Como consecuencia del tratamiento de suspensión de riego fueron afectados significativamente algunos de los componentes del rendimiento (Cuadro 1). Los parámetros más sensibles al tratamiento fueron el de vainas por planta y el de granos por planta. Ambos fueron significativamente alterados, sin embargo, los parámetros de granos por vaina y el de peso de granos por planta siguieron la misma tendencia, de verse disminuidos por el tratamiento. De hecho, el rendimiento por planta se vio reducido en 14 %.

Los resultados señalan que por lo menos en este cultivar, resistente a sequía y en condiciones de invernadero, no fue posible mostrar que una vez que se presenta la sequía hasta producir el cierre estomático, el rendimiento agronómico se ve afectado, como lo fue para el caso del material Cacahuete-72 (Larqués-Saavedra *et al.*, 1984). Debe, sin embargo, resaltarse que si se anotaron diferencias significativas en dos de

los más importantes componentes como lo son vainas y granos por vaina. Posiblemente la característica de resistencia a la sequía del material utilizado impidió la reproducción del fenómeno (González, 1981; Mojarro, 1977; Villarreal, 1981).

Experimento 2

En el segundo experimento, llevado a cabo en macetas en el campo, se anota que los valores de transpiración también se pueden reducir hasta alcanzar valores cercanos a cero. El Cuadro 2 muestra como la conductancia y la resistencia estomática se ven afectadas de manera paralela, como era de esperarse.

En cuanto a los valores de potenciales de agua y sus componentes en la planta, así como el contenido relativo de agua, se puede apreciar que estos se ven afectados de manera significativa (Cuadro 2) entre el control bajo riego y el tratamiento que corresponde a aquel en el que la transpiración alcanzó el valor deseado cercano a cero.

El potencial de agua del suelo fue igualmente afectado de manera significativa por el tratamiento. Esta información permite interpretar que bajo condiciones de maceta-campo la planta responde de manera fisiológica diferente al tratamiento de suspensión de riego (Harterlein, 1982; Kaufmann, 1981).

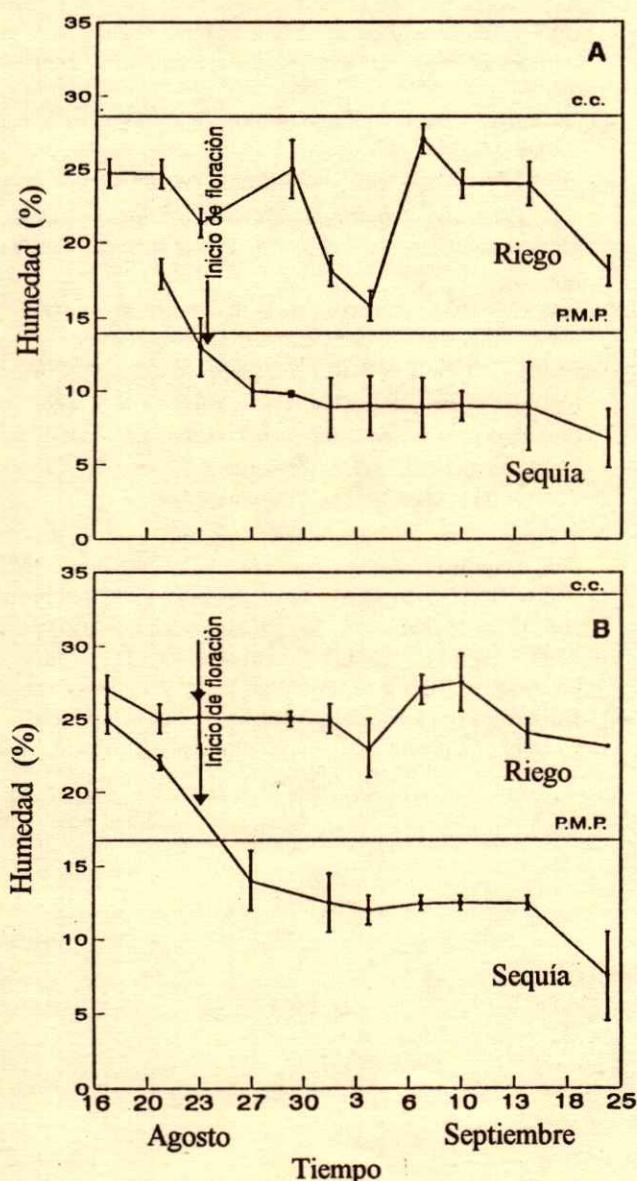
Respecto a componentes del rendimiento, hay efecto de los tratamientos sobre estos parámetros. Las vainas y los granos por planta fueron afectados de manera significativa, sin embargo, debe resaltarse que el peso de granos por planta disminuyó de manera más contundente que lo que se encontró en el primer experimento. Los valores de granos por vaina no

fueron afectados y son muy similares a los reportados para el primer experimento.

Experimento 3

El experimento que se llevó a cabo en condiciones de campo, y el porcentaje de humedad aprovechable en los estratos 0 a 30 y 30 a 60 cm se muestra en la Figura 1. Los resultados de transpiración, conductancia y resistencia estomática de los tratamientos estudiados, se anotan en el Cuadro 3. La transpiración del tratamiento de suspensión de riego alcanzó a reducirse solo a 63 % del control bajo riego, suficiente, sin embargo, para afectar significativamente el potencial de agua de las plantas (Figura 2), respuesta fisiológica homóloga a la encontrada por Morgan, 1984. El efecto de la suspensión del riego sobre los componentes del rendimiento se muestra en el Cuadro 4; en él se puede observar que el tratamiento de suspensión del riego no afectó ninguno de los parámetros cuantificados.

Los resultados del experimento de campo se presentan con el fin de señalar que es imprescindible proseguir los ensayos para cotejar el parámetro en condiciones de campo. El planteamiento de realizarlo bajo estas condiciones requiere de mayor control de la humedad del suelo, situación que puede superarse si se realiza el experimento fuera de la época de mayor incidencia de lluvias, como el llevado a cabo en el presente trabajo.



c.c. = capacidad de campo; P.M.P. = punto de marchitez permanente.

Figura 1. Humedad aprovechable y porcentaje de humedad en la capa 0-30 cm (A) y 30-60 cm (B) de profundidad de suelo muestreado bajo el tratamiento riego y sequía, en frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) cv. Michoacán 12A3.

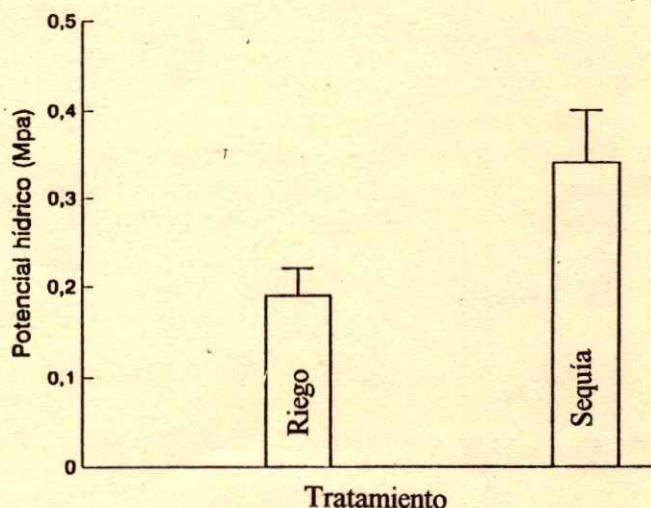


Figura 2. Efecto de la sequía edáfica (hasta 60 cm) sobre el potencial de agua de la planta (Ψ_w) en frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) cv. Michoacán 12A3. Los datos corresponden al final de la sequía.

Deben considerarse los presentes resultados como un avance en el cotejo del parámetro que fuera propuesto para detectar el inicio de la sequía en frijol. Los resultados no permiten descartarlo como factible de ser aplicable, sin embargo, se requiere de mayor evidencia experimental, dado que, como se sabe, el valor de la transpiración puede estar enmascarado por valores como el déficit de presión de vapor o la temperatura, que en condiciones de invernadero son particularmente altas.

AGRADECIMIENTOS

Los autores desean hacer patente su sincero agradecimiento al biólogo Rubén San Miguel Chávez por sus sugerencias y la captura del manuscrito.

LITERATURA CITADA

- Dwyer, L. M. y D.W. Stewart. 1984. Indicators of water stress in corn (*Zea mays* L.). Can. J. of Plant Sci. 64: 537-546.
- González, C. A. 1981. Tasas evapotranspirativas y efectos de variar los niveles de humedad del suelo en el rendimiento del frijol. Tesis de Maestría en Ciencias, Colegio de Postgraduados. Chapingo, Méx.
- Harterlein, A. J. 1982. Bean. In: I.O. Teare and M.M. Peet. (eds). Cropwater relations. John Wiley and Sons, Inc. New York.
- Kanemasu, E. T. y C.B. Tanner. 1969. Stomatal diffusion resistance of snap beans: I. Influence of leaf-water-potential. Plant Physiol. 44: 1547-1552.
- Kaufmann, M. J. 1981. Development of water stress in plants. Hort. Sci. 16: 34-36.
- Larqué-Saavedra, A. 1983. Contribuciones de la fisiología vegetal a la resistencia a la sequía. Ponencia presentada en el simposium de sequía organizado por el Depto. de Fitotecnia de la UACH.
- Larqué-Saavedra, A., C. Trejo y N. Vasco. 1984. A physiological drought parameter of agronomic yield. Plant Physiol. (Supplement).
- Larqué-Saavedra, A., M.T. Rodriguez, C. Trejo y S.T. Nava. 1985. Abscisic acid accumulation and water relations of four cultivars of *Phaseolus vulgaris* L. under drought. J. of Exp. Bot. 36: 1787-1792.
- Larqué-Saavedra, A. y C. Trejo. 1990. El agua en las plantas. Trillas. México.
- Mojarro, D.F. 1977. Efecto de la sequía en el rendimiento del frijol *Phaseolus vulgaris* L., aspectos fisiológicos. Tesis de Maestría en Ciencias, Colegio de Postgraduados. Chapingo, Méx.
- Morgan, J.M. 1984. Osmoregulation and water stress in higher plants. Ann. Rev. of Plant Physiol. 35: 299-319.
- Samaniego, R.J.A. 1988. Resistencia a la sequía XXVI. El transplante de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) como una estrategia para incrementar el aprovechamiento de la fijación biológica del nitrógeno. Tesis de Maestría en Ciencias, Colegio de Postgraduados, Chapingo, Méx.
- Turner, N.C. 1974. Stomata responses to light and water under field conditions. In: R. Bielecki, A.R. Ferguson y M.M. Creswell. (eds). Mechanisms of regulations of plant growth. Bul. 12, N. Zealand Roy. Soc., New Zealand.
- Villarreal, M.A.G. 1981. Resistencia a la sequía V. condicionamiento a la sequía en frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) ajustes morfológicos y osmóticos. Tesis de Maestría en Ciencias, Colegio de Postgraduados. Chapingo, Méx.

INFLUENCIA DE NUTRIMENTOS Y FACTORES TOPOEDAFICOS EN LA EFICIENCIA DE CRECIMIENTO Y AREA FOLIAR DE ABETO DOUGLAS EN LAS CASCADAS CENTRALES DE OREGON, EUA

Nutrient and Topoedaphic Factors Influence in Growth Efficiency and Leaf Area in Douglas-Fir Plantations in the Central Oregon Cascades, USA

Alejandro Velázquez Martínez¹ y David A. Perry²

RESUMEN

En el presente trabajo se estudió la influencia de variables topoedáficas y nutrientes foliares en el incremento del área foliar y en la eficiencia en crecimiento en plantaciones de abeto Douglas (*Pseudotsuga menziesii*) en las Cascadas Centrales de Oregon, EUA, que fueron tratadas con diferentes niveles de aclareo y a las cuales se les aplicó fertilización múltiple. Los resultados indican que algunos nutrientes como N, Mg y K tuvieron la mayor influencia en el incremento relativo del índice de área foliar, mientras que la eficiencia de crecimiento en estos rodales estuvo relacionada con el índice de área foliar y el nitrógeno mineralizable en rodales de densidad alta y media, y con el contenido de Mg en el follaje en rodales con densidad baja.

Palabras clave: *Nutrientos, eficiencia de crecimiento, área foliar, abeto Douglas.*

SUMMARY

The influence of topoedaphic variables and foliar nutrients on leaf area index (LAI) increment and growth efficiency (GE) was studied in young Douglas-fir plantations that had been thinned and multinutrient fertilized. Stepwise models suggest that relative LAI increment in these stands correlated most closely with one or another measure of Mg, K and N availability. GE was related with LAI and mineralizable nitrogen at both the high and moderate densities. At low density, GE correlated most strongly with foliar Mg content.

¹ Programa Forestal, Colegio de Postgraduados, 56230 Montecillo, Edo. de México, México.

² Department of Forest Science, Oregon State University, 97331 Corvallis, OR.

Aceptado: Mayo de 1996.

Index words: *Nutrients, growth efficiency, leaf area, Douglas-fir.*

INTRODUCCION

La productividad primaria neta de un bosque consiste de la acumulación de madera de los árboles en pie, así como el crecimiento de otros tejidos que son usualmente de vida corta (Waring y Schlesinger, 1985).

Básicamente, la productividad forestal básicamente puede expresarse en función de dos factores: el índice de área foliar (IAF) y la eficiencia de crecimiento (EC). Algunos trabajos han reportado que la productividad de algunos bosques de coníferas está relacionada linealmente en determinado rango del IAF (Albrektsen *et al.*, 1977; Binkley y Reid, 1984; Magnussen *et al.*, 1986). Sin embargo, la eficiencia de crecimiento declina aceleradamente con un incremento en el IAF, y la productividad culmina, e inclusive declina, con IAF altos (Perry, 1985; Schroeder *et al.*, 1982; Velázquez, 1990; Waring y Schlesinger, 1985).

Para entender la influencia de los factores del sitio en la productividad forestal, es necesario tener un entendimiento de los factores que influyen en el incremento del área foliar y en la eficiencia de crecimiento. El área foliar de un rodal se relaciona con el balance hídrico en el sitio (Gholz, 1982; Gholz *et al.*, 1976; Grier y Running, 1977) y con los nutrientes del suelo (Albrektsen *et al.*, 1977; Linder y Axelsson, 1982; Waring y Schlesinger, 1985). Por otro lado, la eficiencia de crecimiento se incrementa con la fertilización, pero una respuesta a largo plazo, generalmente resulta en una declinación de la EC como consecuencia del incremento en el IAF, a menos de que los rodales sean aclareados (Binkley y Reid, 1984; Brix, 1981; Vose y Allen, 1988; Waring *et al.*, 1981).

En el presente estudio se realiza un análisis de la influencia de factores topoedáficos y de nutrientes en

el incremento del área foliar y en la eficiencia de crecimiento en plantaciones de abeto Douglas (*Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco) tratadas con tres niveles de aclareo, y en donde los árboles se podaron y fertilizaron con tabletas de acción prolongada.

METODOS

El presente estudio se desarrolló en el Campo Experimental H.J. Andrews, del Servicio Forestal Norteamericano, ubicado a 80 km al este de la ciudad de Eugene, estado de Oregon (latitud 44°15' N, longitud 122°10' W). En el campo experimental, el clima es húmedo y moderadamente templado en invierno y cálido y seco en verano (Bierlmaier y McKee, 1989). El tipo de vegetación presente corresponde a las zonas de *Tsuga heterophylla* y *Abies amabilis*; sin embargo, las parcelas experimentales se localizaron solamente en la de *Tsuga heterophylla* (Western Hemlock) (Franklin y Dyrness, 1973).

Estas parcelas se localizaron en cuatro plantaciones de abeto Douglas con edades que fluctuaron entre 21 a 27 años. Los tratamientos se asignaron bajo un diseño de parcelas divididas con tres niveles de aclareo (moderado, intenso y control), representando a las parcelas, y dentro de cada parcela cuatro tratamientos, representando a las subparcelas. Los tratamientos fueron: poda, fertilización, fertilización y poda y control.

Los aclareos se realizaron en 1981; en 1983 se presentaron índices de área foliar promedio de 2, 3 y 8 m² m⁻² en las parcelas con aclareo intenso, moderado y sin aclareo, respectivamente. Los árboles de cada parcela se podaron en un tercio de su copa y se fertilizaron en 1982 y 1984. La fertilización fue individual a través de la aplicación de tabletas de fertilización múltiple de acción prolongada, con una dosis de una tableta por cada 1.2 cm de diámetro a la altura del pecho (d.a.p.). Estas tabletas se enterraron a 20 cm de profundidad, y se distribuyeron uniformemente a una distancia del fuste igual a la proyección de la copa de cada árbol. El contenido de cada tableta de fertilización fue de 4.2 g N, 2.1 g P₂O₅, 1.0 g K₂O, 0.55 g Ca, 0.34 g S y 0.07 g Fe. Las adiciones estimadas de fertilizante por hectárea y por árbol se muestran en el Cuadro 1. Los árboles se enumeraron y etiquetaron para facilitar las mediciones subsecuentes.

Los rodales de baja densidad tuvieron un promedio de 295 árboles ha⁻¹, los de media densidad 587 árboles ha⁻¹ y los de alta densidad 3201 árboles ha⁻¹, en tanto que el diámetro a la altura del pecho en estos tres tipos de rodales fue de 20.35, 17.66 y 12.59 cm, respectivamente.

El área foliar y la biomasa arbórea total se estimaron con el uso de relaciones alométricas en tres períodos de medición: 1983, 1985 y 1987. Para el primer caso se obtuvieron virutas de incremento en un tercio de los árboles en cada período de crecimiento a fin de obtener la superficie de la albura y estimar el área foliar de acuerdo con la relación alométrica presentada y validada por Waring *et al.* (1982). Posteriormente, se calculó el índice de área foliar. La estimación de la biomasa total arbórea se obtuvo a través de la medición del d.a.p. en todos los árboles por parcela, para posteriormente obtener el volumen a través del uso de las ecuaciones alométricas obtenidas y validadas por Gholz *et al.* (1979).

En este estudio se analizaron los valores de incremento en el IAF y la EC en el período 1985-1987. La EC se expresa como el incremento en biomasa de 1985 a 1987 dividido entre el IAF en 1985.

Se realizaron análisis foliares para N, P, Ca, K y Mg. Para esto, se colectó follaje a finales del verano de 1988 de cinco árboles por parcela, los cuales se seleccionaron aleatoriamente de los estratos dominante y codominante. Se obtuvo follaje del último año y del año anterior (1987) de una rama del lado norte y otra del lado sur de cada árbol en la parte media de la copa. La concentración de cationes se determinó a través de la digestión en ácido perclórico y análisis con un espectrofotómetro de absorción atómica. Las concentraciones de N y P se determinaron a través de digestión microKjeldahl y con un analizador de flujo rápido Alpkem (R.F.A-300).

Los factores topoedáficos se caracterizaron por las siguientes variables: exposición ajustada, pendiente, pedregosidad, N y P totales, cationes intercambiables, pH y N-mineralizable, para lo cual se obtuvieron tres muestras de suelo por parcela a una profundidad de 0 a 20 cm del suelo mineral. El nitrógeno mineralizable (Nmin) se determinó anaeróbicamente usando la técnica de Waring y Bremner (1964). Nitrógeno y fósforo totales se determinaron por digestión microKjeldahl. Ca, K y Mg intercambiables

Cuadro 1. Adiciones estimadas de fertilizante por hectárea y por árbol en los diferentes niveles de densidad.

Densidad	N		P		K		Ca		S		Fe	
	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B
Baja	31.0	94	6.9	21	6.2	19	4.1	12	2.5	8	0.5	2
Media	51.0	89	11.1	19	1.01	18	6.7	12	4.1	7	0.8	1
Alta	163.0	51	35.6	11	32.3	10	21.4	7	13.2	4	2.7	1

A) kg ha⁻¹B) g árbol⁻¹**Cuadro 2. Promedios y rangos del índice de área foliar (IAF) medio en 1985 y 1987, y de la eficiencia de crecimiento (EC) e incremento relativo en el índice de área foliar (rIAF) durante el mismo periodo en los diferentes niveles de densidad.**

Densidad	IAF 1985		IAF 1987		EC	rIAF
	Promedio	Rango	Promedio	Rango		
	----- m ² m ⁻² -----		----- m ² m ⁻² -----		g m ⁻² año ⁻¹	
Alta	9.3	4.9-16.9	10.7	5.7-19.5	180 (0.133)	0.18 (0.02)
Media	3.7	2.3-5.6	4.4	2.9-6.1	236 (0.078)	0.20 (0.01)
Baja	2.3	1.5-2.9	2.8	1.8-3.5	268 (0.098)	0.21 (0.01)

Nota: Números en paréntesis indican errores estándar.

se determinaron con el método del acetato de amonio.

Para examinar la relación entre la EC o el IAF y las variables topográficas, área foliar y los nutrientes foliares (concentración y contenido) se usó el procedimiento de regresión múltiple por pasos "STEPWISE" (SAS Institute, 1985). Debido a que se encontró translocación de nutrientes en el follaje de un año de edad (Velázquez, 1990), se utilizaron valores de nutrientes del follaje de 1988. Asimismo, a fin de reducir el efecto de IAF inicial en el crecimiento y explorar más eficientemente los efectos ambientales, se procedió a ejecutar la regresión con el IAF relativo (rIAF) expresado como (IAF 1987 - IAF 1985)/IAF 1985. Los datos se transformaron cuando fue necesario, a fin de alcanzar la mejor distribución de valores residuales. En general, la mayoría de los modelos ajustaron con transformación log-log.

En el presente estudio se utilizó el criterio de las variables "dummy" o de engaño (Neter *et al.*, 1983) para determinar la variación de la relación entre EC e IAF entre los diferentes niveles de aclareo, se encontró una variación significativa entre niveles de aclareo, no así entre tratamientos ($p = 0.0001$). Por lo tanto, se realizó el análisis de regresión en cada nivel de aclareo sin considerar los tratamientos. Las ecuaciones corresponden a la forma $\ln Y = a + b \ln (\text{IAF})$, en donde Y es la eficiencia de crecimiento e IAF el índice de área foliar en 1985.

RESULTADOS

El índice de área foliar promedio en 1985 fue 2.3, 3.7 y 9.3 m² m⁻² para las parcelas con aclareo intenso, moderado y sin aclareo, respectivamente; mientras que para 1987, el IAF promedio fue de 2.8, 4.4 y 10.7 m² m⁻². Por otro lado, el incremento relativo promedio en IAF (rIAF) entre 1985 y 1987 fue de 0.21, 0.20 y 0.18, para los tres niveles de aclareo, respectivamente (Cuadro 2).

Las relaciones entre la EC y el IAF se presentan en el Cuadro 3, en donde se aprecia una mayor relación del IAF con la EC en los niveles de densidad alta, es decir, en donde no hubo aplicación de aclareos.

Factores que Influyen en el Incremento del IAF

Los modelos de regresión explicaron 62, 91 y 90 % de la variación en rIAF en los aclareos fuerte, moderado y sin aclareo, respectivamente. En ambas intensidades de aclareo hubo una mayor correlación entre rIAF y niveles foliares de Mg y K. En el aclareo de mayor intensidad la concentración foliar de Mg explicó 49 % de la variación de incremento en IAF, manifestado en el modelo de regresión.

En aclareos moderados, rIAF correlacionó positivamente con alguna medida de K y Mg, y negativamente con variables topográficas que probablemente

Cuadro 3. Ecuaciones derivadas para predecir eficiencia de crecimiento con el índice de área foliar en los diferentes niveles de densidad.

Densidad	Y	a	b	R ²	P	Rango de IAF (1985)
Alta	EC	2.49 (0.21)†	-0.58 (0.09)	0.73	0.0001	4.9-16.9
Media	EC	2.02 (0.12)	-0.37 (0.09)	0.53	0.0013	2.3-5.6
Baja	EC	1.68 (0.15)	-0.017 (0.17)	0.0007	0.9240	1.5-2.9

† Los números en paréntesis son errores estándar.

indican limitaciones en humedad. El contenido foliar de K explicó 45 % de la variación en rIAF, mientras que la exposición explicó 22 % adicional, presentándose un mayor incremento en IAF en exposiciones norte que en exposiciones sur.

En los rodales sin aclareo, rIAF tuvo una mayor correlación con N_{min} ($r^2 = 0.45$, $p = 0.0046$). Sin embargo, el N foliar no tuvo relación alguna en el modelo. Adicionalmente, rIAF presentó una relación positiva con los contenidos de Mg y P en el follaje.

Aunque la pedregosidad correlacionó negativamente con los niveles de nitrógeno mineralizable y de cationes intercambiables y no obstante los amplios rangos de pedregosidad, ésta presentó poca influencia sobre el incremento del rIAF.

Factores que Influyen en la Eficiencia de Crecimiento

Los modelos de regresión en este caso, explicaron 78, 97 y 97 % de la variación de EC en los aclareos fuerte, moderado y control, respectivamente (Cuadro 4). El IAF no tuvo influencia en EC en las densidades más bajas (aclareo fuerte), pero se presentó una relación más directa a medida que los niveles de densidad se incrementaron. A niveles de densidad bajos, EC correlacionó positivamente con el contenido foliar de Mg y negativamente con el N total del suelo y con el contenido foliar de P. En aclareos moderados, IAF y el nitrógeno mineralizable explicaron 85 % de la variación de EC, este último, presentando una relación negativa. Estas dos variables también fueron las más importantes en los rodales que no se aclarearon; sin embargo, el IAF explicó 73 % de la variación en EC.

El Cuadro 5 muestra coeficientes de correlación simples entre nutrientes foliares y del suelo (sólo se presentan datos de parcelas no fertilizadas). Con pocas excepciones, las medidas de nutrientes en el suelo resultaron ser pobres predictores de los niveles de nutrientes foliares. En el caso de la concentración

foliar del N, ésta correlacionó con N_{min}, pero solamente en las parcelas de menor densidad. Las medidas de nutrientes en el suelo resultaron ser ligeramente mejores predictores de la concentración de nutrientes en el follaje, que del contenido; sin embargo, esta situación estuvo en función del nivel de densidad de las parcelas (Cuadro 5). Por ejemplo, en las parcelas con aclareo moderado, las concentraciones foliares de Mg y P correlacionaron significativamente con su respectiva medida en el suelo (especialmente Mg), y la concentración de N correlacionó significativamente con N total del suelo, pero no con N_{min}, mientras que en las parcelas con intensidad de aclareo fuerte, la concentración foliar de N no fue explicada por nitrógeno total del suelo y N_{min}.

DISCUSION

Los valores máximos de IAF en las parcelas sin aclareo (16.9 m² m⁻² en 1985 y 19.5 m² m⁻² en 1987) son comparables con los valores máximos reportados en otros estudios en abeto Douglas (Gholz, 1982; Gholz *et al.*, 1976; Grier y Running, 1977; Waring *et al.*, 1978).

Los modelos de regresión indican que rIAF tuvo una correlación más estrecha con alguna medida de disponibilidad de Mg, K y N. Aunque en el estudio se presentaron algunas variables que indican disponibilidad de agua, éstas parecieron tener poca influencia en el incremento del área foliar, excepto en aquellas parcelas en donde se aplicaron aclareos en las cuales la exposición explicó 22 % de la variación del rIAF. Waring *et al.* (1978) han establecido que el índice de área foliar en rodales forestales tiene más restricciones debido a condiciones climáticas locales, que a las limitaciones de nutrientes. Sin embargo, Grier y Running (1977) indican que los factores que regulan IAF son más complejos y no sólo se debe considerar la disponibilidad de agua.

Cuadro 4. Modelos para el incremento relativo en área foliar (rIAF) y eficiencia de crecimiento (EC) y aclareo.**Control**

$$\text{Ln rIAF} = -6.87 + 0.87 \text{ Ln Nmin} + 1.24 \text{ Ln P}_c + 1.6 \text{ Ln K}_c + \text{Ln Mg}_c + 0.01 \text{ Pen.} + 0.32 \text{ Ln P}_s$$

$$R^2 = 0.90 \quad P = 0.0554$$

$$\text{Ln EC} = 8.42 - 0.73 \text{ Ln IAF} + 0.09 \text{ Ln Nmin} - 1.92 \text{ Ln pH} - 0.27 \text{ Ln P}_c + 0.002 \text{ Exp.} - 0.29 \text{ Ln Mg}_c - 0.27 \text{ Ln}$$

$$R^2 = 0.97 \quad P = 0.026$$

Aclareo medio

$$\text{rIAF} = -0.097 + 0.0043 \text{ K}_c - 0.00006 \text{ Exp.} + 1.77 \text{ Mg}_c - 0.001 \text{ Pen.} + 0.014 \text{ Mg}_s$$

$$R^2 = 0.91 \quad P = 0.0245$$

$$\text{EC} = 4.04 - 0.301 \text{ IAF} + 0.021 \text{ Nmin} - 0.056 \text{ Ca}_{\text{con}} + 0.0136 \text{ P}_c + 0.0058 \text{ Pen.}$$

$$R^2 = 0.97 \quad P = 0.0338$$

Aclareo fuerte

$$\text{Ln rIAF} = 0.073 + 3.18 \text{ Mg}_{\text{con}} - 0.012 \text{ Ca Mg}^{-1}$$

$$R^2 = 0.62 \quad P = 0.0503$$

$$\text{Ln EC} = -2.38 + 1.16 \text{ Ln Mg}_c - 0.52 \text{ Ln N}_s - 0.28 \text{ Ln P}_{\text{con}}$$

$$R^2 = 0.78 \quad P = 0.005$$

Nota: Nmin = Nitrógeno mineralizable; el subíndice c indica contenido foliar del nutriente, el subíndice con del nutriente y el subíndice s indica el nutriente en el suelo. Pen = pendiente. Exp = exposición.

Cuadro 5. Correlaciones simples entre contenido y concentración foliar de nutrientes y nutrientes del suelo por nivel de densidad en parcelas no fertilizadas.

Nutriente foliar	Medida del suelo	Densidad		
		Alta	Media	Baja
Contenido	N	0.40	0.496	0.532
N	total	P = 0.93	P = 0.21	P = 0.17
Contenido	N	0.503	0.452	0.673
N	mineralizable	P = 0.20	P = 0.26	P = 0.07
Contenido	P	0.306	0.278	0.173
P	(Kjeldahl)	P = 0.46	P = 0.51	P = 0.68
Contenido	K	-0.138	0.342	0.096
K	intercambiable	P = 0.75	P = 0.40	P = 0.82
Contenido	Ca	0.082	0.282	0.024
Ca	intercambiable	P = 0.85	P = 0.50	P = 0.95
Contenido	Mg	-0.133	0.383	-0.007
Mg	intercambiable	P = 0.75	P = 0.35	P = 0.98
Concentración	N	-0.021	0.748	0.639
N	total	P = 0.96	P = 0.03	P = 0.06
Concentración	N	0.432	0.327	0.656
N	mineralizable	P = 0.29	P = 0.43	P = 0.08
Concentración	P	-0.169	0.713	-0.058
P	(Kjeldahl)	P = 0.69	P = 0.05	P = 0.39
Concentración	K	-0.209	0.367	0.015
K	intercambiable	P = 0.62	P = 0.37	P = 0.97
Concentración	Mg	0.113	0.862	-0.174
Mg	intercambiable	P = 0.79	P = 0.006	P = 0.63
Concentración	Ca	0.372	0.203	0.016
Ca	intercambiable	P = 0.36	P = 0.63	P = 0.97

Por otro lado, el patrón existente de menor crecimiento de rIAF en exposiciones sur que en exposiciones norte, probablemente refleja una demanda evaporativa mayor en la primera. Estudios con otras

coníferas han mostrado que la transpiración tiene poca variación entre rodales similares que ocupan diferentes aspectos topográficos (Kaufmann, 1984; McNaughton y Jarvis, 1983). La falta de influencia de la exposición

en crecimiento de IAF en otros niveles de densidad, probablemente refleja cambios posibles en la disponibilidad relativa de nutrimentos, agua y luz, a medida que se incrementa la densidad del rodal.

Resulta importante señalar que, aunque la concentración de nutrimentos en el follaje de 1988 probablemente no tenga una influencia fisiológica directa en el período de crecimiento ocurrido entre 1985 y 1987, ésta generalmente refleja un índice de disponibilidad de nutrimentos para los árboles en un sitio dado.

Los modelos de regresión indicaron que en las parcelas aclareadas, la concentración foliar de Mg tuvo la mayor influencia en rIAF, explicando casi 50 % de la variación en las parcelas con menor densidad. Por otro lado, la concentración foliar de K correlacionó con rIAF en parcelas con aclareo moderado, explicando 45 % de la variación. Estos resultados son consistentes con estudios de análisis de vectores (Velázquez, 1990), en los cuales se reporta que estas parcelas están limitadas por K, Mg y N. Recientemente, se ha reportado que rodales de abeto Douglas, de la región "Intermountain" de Estados Unidos, no responden a la fertilización con N cuando los árboles presentan concentraciones foliares bajas en N (Mika y Moore, 1990).

Por otro lado, Velázquez (1990) encontró que en rodales de abeto Douglas con densidad completa, se presenta mayor limitación de N que en los rodales de menor densidad, lo que puede explicar en parte la alta relación que existe entre el Nmin y el incremento en área foliar de estas parcelas. Sin embargo, no se presentó alguna relación entre Nmin y la concentración foliar de N, por lo que en los rodales de mayor densidad, probablemente los niveles de nutrimentos en el follaje de 1988 no son buenos indicadores de nutrición del período de crecimiento entre 1985 y 1987.

La eficiencia de crecimiento fue afectada por varias de las variables consideradas en este estudio. Sin embargo, IAF y Nmin tuvieron la mayor influencia en los rodales de densidades alta y media. En las parcelas aclareadas, IAF tuvo mayor influencia sobre EC. Sin embargo, el nitrógeno mineralizable, la concentración foliar de Mg y la exposición, correlacionaron positivamente con EC. La exposición, en particular, indica que la eficiencia de crecimiento en los rodales de mayor densidad es superior en las exposiciones sur que en las norte. La mayor cantidad

de radiación solar en esta exposición, probablemente resulta en una mayor tasa fotosintética por unidad de área foliar y, como consecuencia, mayor EC.

En las parcelas con densidad media, el índice de área foliar también influye en EC; sin embargo, Nmin tuvo un efecto mayor que en las parcelas de mayor densidad. En el caso de las parcelas con la menor densidad, el índice de área foliar no tuvo algún efecto. El contenido de Mg en el follaje fue la variable que más limita EC, mientras que el N total en el suelo y el contenido foliar de P tuvieron un efecto negativo.

La relación negativa que se presentó entre EC y el N total en el suelo a niveles de densidad bajos, puede ser una indicación de competencia entre los árboles de abeto Douglas y la vegetación de sotobosque que demanda mayores cantidades de N, o bien, también puede ser que esta medida de N en el suelo no refleje con precisión el N disponible para los árboles. Sin embargo, esta variable presenta una correlación con la concentración foliar de N en las parcelas con aclareo moderado.

El nitrógeno mineralizable es un índice que se ha relacionado con alguna medida de productividad forestal en rodales de abeto Douglas (Kabzems y Klinka, 1987; Powers, 1980). En este estudio se encontró una relación entre este índice y la eficiencia de crecimiento. Este índice puede afectar directamente la nutrición de N en los árboles; sin embargo, la concentración de N en el follaje no tuvo una relación estrecha con EC y con Nmin. Se ha considerado que el N mineralizable determinado anaeróbicamente refleja fuentes de N tales como la biomasa microbiana y, probablemente, otras formas de materia orgánica inestable (Myrold, 1987). Por lo tanto, es probable que este índice esté relacionado indirectamente con un número de factores no considerados en el presente estudio.

Por otro lado, en las parcelas de menor densidad, la concentración foliar de Mg tuvo una relación más estrecha con el crecimiento del área foliar que el contenido, mientras que este último tuvo mayor influencia en EC. Esto refleja en cierta medida, diferentes procesos fisiológicos involucrados con el crecimiento y eficiencia del área foliar.

En las parcelas aclareadas, con excepción del N, la relación entre las medidas de nutrimentos en el follaje y en el suelo generalmente fue baja. Esto puede reflejar, en parte, competencia por nutrimentos dentro del mismo árbol; esto es, los árboles responden a la

fertilización con un incremento en el área foliar y no con un incremento en la concentración de nutrimentos en el follaje. Sin embargo, los coeficientes de correlación simple entre los nutrimentos del suelo y del follaje en parcelas no fertilizadas, mostraron el mismo patrón en las parcelas con árboles podados y no podados. Una excepción a este patrón fue el N, en donde la concentración y contenido foliar tuvieron buena correlación con N total del suelo y Nmin en parcelas con arbolado que no recibieron poda.

Lo anterior permite analizar lo que otros autores han establecido en cuanto a que las medidas estándares de nutrimentos en el suelo, con frecuencia, no reflejan con precisión lo que se encuentra disponible para los árboles (Powers, 1980, 1984; Radwan y Shumway, 1984; Edmonds y Hsiang, 1987). En cuanto a los alcances de este trabajo, cabe resaltar que, debido a las limitaciones inherentes a la metodología seguida, no es posible generalizar los resultados a rodales de abeto Douglas fuera de las Cascadas Centrales de Oregon, EUA.

CONCLUSIONES

Los resultados presentados en este trabajo demuestran que, además del nitrógeno, el potasio y el magnesio también limitan la productividad de los rodales de abeto Douglas en las Cascadas Centrales de Oregon.

Por otro lado, la eficiencia de crecimiento de estos rodales, a densidades altas y moderadas, está controlada, principalmente, por el área foliar, que tiene un efecto negativo, y por el nitrógeno mineralizable, que tiene un efecto positivo. En rodales de baja densidad, la eficiencia de crecimiento es controlada por el contenido de magnesio en el follaje.

La relación entre la eficiencia de crecimiento y el nitrógeno mineralizable en densidades altas y medias indica la importancia de este índice de disponibilidad de nitrógeno en la productividad del bosque. Sin embargo, el nitrógeno mineralizable no correlacionó con el nitrógeno foliar, lo que indica que el nitrógeno mineralizable probablemente refleja factores no medidos en esta investigación.

LITERATURA CITADA

- Albrektson, A., A. Aronsson, y C.O. Tamm. 1977. The effect of forest fertilization on primary production and nutrient cycling in the forest ecosystem. *Silva Fenn.* 11: 233-239.
- Bierlmaier, F.A. y A. McKee. 1989. Climatic summaries and documentation for the primary meteorological station H.J. Andrews Experimental Forest, 1972 to 1984 USDA For. Serv. Gen. Tech. Rep. PNW-6TR-242. Pacific NW Res. Stn. 56 p.
- Binkley, D. y P. Reid. 1984. Long-term responses of stem growth and leaf area to thinning and fertilization in a Douglas-fir plantation. *Can. J. For. Res.* 14: 656-660.
- Brix, H. 1981. Effects of thinning and nitrogen fertilization on branch and foliage production in Douglas-fir. *Can. J. For. Res.* 11: 502-511.
- Edmonds, R.L. y T. Hsiang. 1987. Forest floor and soil influence on response of Douglas-fir to urea. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 51: 1332-1337.
- Franklin, J.F. y C.T. Dyrness. 1973. Natural vegetation of Oregon and Washington. USDA For. Serv. Gen. Tech. Rep. PNM-8. Pacific NW For. and Range Exp. Stn. Portland, OR. 417 p.
- Gholz, H.L. 1982. Environmental limits on aboveground net primary production, leaf area, and biomass in vegetation zones of the Pacific Northwest. *Ecology* 63: 469-481.
- Gholz, H.L., C.C. Grier, A.G. Campbell, y A.T. Brown. 1979. Equations and their use for estimating biomass and leaf area of Pacific Northwest plants. Res. Pap. 41. For Res. Lab. Oregon State University. Corvallis, OR.
- Gholz, H. L., F. K. Fitz y R.H. Waring. 1976. Leaf area differences associated with old-growth forest communities in the western Oregon Cascades. *Can. J. For. Res.* 6: 49-57.
- Grier, C.C. y S.W. Running. 1977. Leaf area of mature northwestern coniferous forests: relation to site water balance. *Ecology* 58: 893-899.
- Kabzems, R.D. y K. Klinka. 1987. Initial quantitative characterization of soil nutrient regimes. II. Relationships among soils, vegetation, and site index. *Can. J. For. Res.* 17: 1565-1571.
- Kaufmann, M.R. 1984. A canopy model (RM-CWU) for determining transpiration of sub-alpine forests. I. Model development. *Can. J. For. Res.* 14: 218-226.
- Linder, S. y B. Axelsson. 1982. Changes in carbon uptake and allocation patterns as a result of irrigation and fertilization in a young *Pinus sylvestris* stand. In: Carbon uptake and allocation in subalpine ecosystems as a key to management. Proc. of an IUFRO workshop P.I. 07-00 Ecology of subalpine zones. Edited by R.H. Waring. For. Res. Lab. Oregon State University. Corvallis, Oregon. pp. 38-44.
- Magnussen, S., V.G. Smith y C.W. Yeatman. 1986. Foliage and canopy characteristics in relation to aboveground dry matter increment of seven jack pine provenances. *Can. J. For. Res.* 16: 464-470.

- McNaughton, K.G. y P.G. Jarvis. 1983. Predicting effects of vegetation changes on transpiration and evaporation. pp. 1-47. *In*: T.T. Koslowski (ed.). *Water deficits and plant growth*. Vol. VII. Academic Press. New York. pp. 1-47.
- Mika, P.G. y J.A. Moore. 1990. Foliar potassium status explains nitrogen fertilization response in the Intermountain Northwest, USA. *Water, Air, and Soil Pollution*. In press.
- Myrold, D.D. 1987. Relationship between microbial biomass nitrogen and a nitrogen availability index. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 51: 1047-1049.
- Neter, J., W. Wasserman y M.H. Kutner. 1983. *Applied linear regression models*. Irwin Inc. Homewood, Illinois. 547 p.
- Perry, D.A. 1985. The competition process in forest stands. pp. 481-505. *In*: M.G.R. Cannell and J.E. Jackson (eds.). *Attributes of trees as crop plants*. Institute of Terrestrial Ecology, Abbots Ripton, Hunts, England.
- Powers, R.F. 1980. Mineralizable nitrogen as an index of nitrogen availability to forest trees. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 44: 1314-1320.
- Powers, R.F. 1984. Estimating soil nitrogen availability through soil and foliar analysis. pp. 353-379. *In*: E.L. Stone (ed.). *Forest soils and treatment impacts*. Procc. of Sixth North American Forest Soils Conference. The University of Tennessee, Knoxville.
- Radwan, M.A. y J.S. Shumway. 1984. Site index and selected soil properties in relation to response of Douglas-fir and Western hemlock to nitrogen fertilizer. pp. 89-104. *In*: E.L. Stone (ed.). *Forest soils and treatment impacts*. Procc. of Sixth North American Forest Soils Conference. The University of Tennessee, Knoxville.
- SAS Institute. 1985. *SAS/STAT Guide for personal computers*. Version 6 edition. SAS Institute. Cary, North Carolina. 378 p.
- Schroeder, P.E., B. McCandlish, R.H. Waring y D.A. Perry. 1982. The relationship of maximum canopy leaf area to forest growth in eastern Washington. *Northwest Science* 56: 121-129.
- Vose, J.M. y H.L. Allen. 1988. Leaf area, stemwood growth, and nutrition relationship in loblolly pine. *For. Sci.* 34: 547-563.
- Velazquez M., A. 1990. Interacting effects of stand density, site factors, and nutrients on productive efficiency of Douglas-fir plantations in the Oregon Cascades. Ph.D. Thesis. Oregon State University. Corvallis, Oregon. 142 p.
- Waring, S.A. y J.M. Bremner. 1964. Ammonium production in soil under waterlogged conditions as an index of nitrogen availability. *Nature* 201: 551-552.
- Waring, R. H., W. H. Emmingham, H. L. Gholz, y C. C. Grier. 1978. Variation in maximum leaf area of coniferous forests and its ecological significance. *For. Sci.* 24: 131-140.
- Waring, E.H. K. Newman y J. Bell. 1981. Efficiency of tree crowns and stemwood production at different canopy leaf densities. *Forestry* 54: 129-137.
- Waring, R.H. y W.H. Schlesinger. 1985. *Forest ecosystems: concepts and management*. Academic Press. Orlando, FL. 340 p.
- Waring, R.H., P.E. Schroeder y R. Oren. 1982. Application of the pine model theory to predict canopy leaf area. *Can. J. For. Res.* 12: 556-560.

SALINITY OF THE RIO GRANDE: TREND AND MANAGEMENT IMPLICATIONS

Salinidad del Río Grande: Tendencias e Implicaciones en su Manejo

S. Miyamoto¹

SUMMARY

With increasing economic developments along the Texas-Mexico border, availability and quality of water from the Rio Grande (or El Rio Bravo) are becoming an important issue. This study was conducted to find salinity trends, and to discuss water management implications. The database used consisted of the flow and salinity data maintained by the International Border and Water Commission for an extended period. The data indicate that salinity of the Rio Grande as well as its tributaries has been increasing since 1969 at a rate of 15 to 18 mg L⁻¹ annually above Amistad Dam, and 9 to 10 mg L⁻¹ annually below Amistad. Salinity of the Rio Grande between Ft. Quitman and Presidio and that of the Pecos is already high, ranging from 2000 to 5000 mg L⁻¹. Irrigated crop production in these sections where high salinity prevails has already declined severely. If the current salinity trend continues, salinity of Amistad reservoir could increase from the current level of 850 mg L⁻¹ to 1000 mg L⁻¹ by the year 2000. This could adversely affect cash crop production in the Lower Valley as well as the quality of water supply to urban sectors. The salinity increase observed at Amistad for the past decade seems to have been caused largely by the increase in salinity of the tributaries, chiefly the Pecos River and the tail water of the middle Rio Grande. The salt loading between El Paso and Amistad is about 1.96 million tons annually and another 1.17 million tons between Amistad and Falcon. Because of the limited quantity of fresh water available for dilution, future research should include water management options which target reuse or disposal of saline drainage water and saline streams away from the primary waterway of the Rio Grande.

¹ Soil and Water Science, Texas A&M Univ. Agr. Res. Ctr. at El Paso, 1380 A&M Circle, El Paso, TX 79936, USA.

Aceptado: Junio de 1996.

Index words: Salinity, sakube water management, accumulation.

RESUMEN

Con el incremento en el desarrollo económico a lo largo de la frontera México-Texas, la disponibilidad y calidad del agua del río Grande (río Bravo) está convirtiéndose en un factor importante. El estudio se realizó con el objetivo de encontrar las tendencias de la salinidad del agua y discutir las implicaciones en su manejo. Se usaron los datos de flujo y salinidad de la Comisión Internacional de Fronteras y Aguas por un período amplio. Los datos indicaron que la salinidad del río Grande, así como la de sus afluentes, desde 1969, se ha incrementado a razón de 15 a 18 mg L⁻¹ por año, sobre la presa de La Amistad y de 9 a 10 mg L⁻¹ abajo de la presa. La salinidad del río Grande, entre el fuerte Quitman y Presidio, Texas, en la actualidad es alta, varía de 2000 a 5000 mg L⁻¹. La producción de los cultivos en esta sección, alta en sales, se ha reducido severamente. Si la tendencia de la salinidad presente continúa, la salinidad del agua de la presa de La Amistad podría incrementarse de los actuales valores de 850 mg L⁻¹ a 1000 mg L⁻¹ para el año 2000. Esto afectaría adversamente la producción de los cultivos en los valles bajos, así como la calidad del agua del abastecimiento del sector urbano. El aumento observado en salinidad de la presa de La Amistad en décadas pasadas, parece que ha sido causado por el aumento en la salinidad de sus afluentes, tales como el río Pecos y las aguas de drenaje a la mitad del río Grande. La sal transportada entre el Paso, Texas, y la presa de La Amistad es de alrededor de 1.96 millones de toneladas anualmente y otros 1.17 millones de toneladas entre La Amistad y Falcon. Debido a la cantidad limitada de agua fresca disponible para diluciones, las investigaciones futuras deberían incluir algunas opciones del manejo del agua, como el control de las aguas salinas de los drenajes a las aguas del río Grande.

Palabras clave: Salinidad, manejo de aguas salinas, acumulación.

INTRODUCTION

The Rio Grande (or El Rio Bravo) is among the longest rivers in North America and constitutes the international border to Mexico in the stretch from El Paso to Brownsville, Texas, or Cd. Juarez to Matamoros, Mexico (Figure 1). Undoubtedly, this water resource is what makes the Texas-Mexico portion of the border highly productive, which otherwise is largely semi-arid desert. There are, however, increasing concerns that the quality of this river may be deteriorating, mainly due to the recent economic developments through the expansion of the Maquila Program and associated population influx into the border area (Table 1). Eaton and Hurlbut (1992), for example, point out that the discharge of poorly treated (or at times, untreated sewage) has caused extensive contamination of both surface and shallow ground water along the Rio Grande. Lewis and Ormsby (1990) feared that chemical pollution of surface water may increase with increased industrial activities along the border. Our recent assessment shows that trace elements of the

Table 1. Border population trend.

	1980	1990	Increase
	----- 1 000	-----	%
US			
El Paso [†]	425	535	26
Laredo	99	139	40
Lower R.G. [‡]	151	192	27
Others	<u>519</u>	<u>710</u>	37
US border	1194	1576	32
Mexico			
Cd. Juarez area [†]	751	1330	77
Others	<u>720</u>	<u>897</u>	25
Mexican border	1471	2227	51

[†] The data from the El Paso City Planning Department.

[‡] McAllen, Harlingen & Brownsville.

Rio Grande are at low enough concentrations to meet all the existing federal and state water quality standards, except for aquatic species protection (Miyamoto *et al.*, 1995). The concentrations of Hg in fish in some parts of the upper reach, and of Cu, Pb and V in salt marsh of the Lower Rio Grande are, for example, significantly elevated (e.g., Popp *et al.*, 1983; US Fish and Wildlife Service, 1986; Wells *et al.*, 1988). Our ongoing review and analyses also indicate that salts are among the most significant water contaminants which limit the full utilization of water resources in the upper Rio Grande reach. This article describes some of the key findings relative to salinity trends and discuss water management implications.

HYDROLOGY

The Rio Grande Basin consists of two major watersheds; one originates from the southern slopes of the Colorado Mountains and northern New Mexico; another from the mountain ranges of Chihuahua, Mexico, and the Pecos Basin of southern New Mexico and far west Texas. Although the Rio Grande is shown as a continuous river, the flow from the Colorado Mountains at times diminishes near Ft. Quitman approximately 125 km (78 miles) south of El Paso. The new perennial flow begins at the confluence of the Rio Conchos from the Mexican side, approximately 454 km (284 miles) downstream from El Paso.

The flow of the Rio Grande that originates from the watershed in the southern slopes of the Colorado Mountains and the mountain ranges of northern New Mexico is stored at Elephant Butte Dam (design capacity 3.25 billion m³ or 2.64 million acre-ft) located in New Mexico. The water is used to irrigate the Mesilla, the El Paso and the Juarez Valleys. The Rio

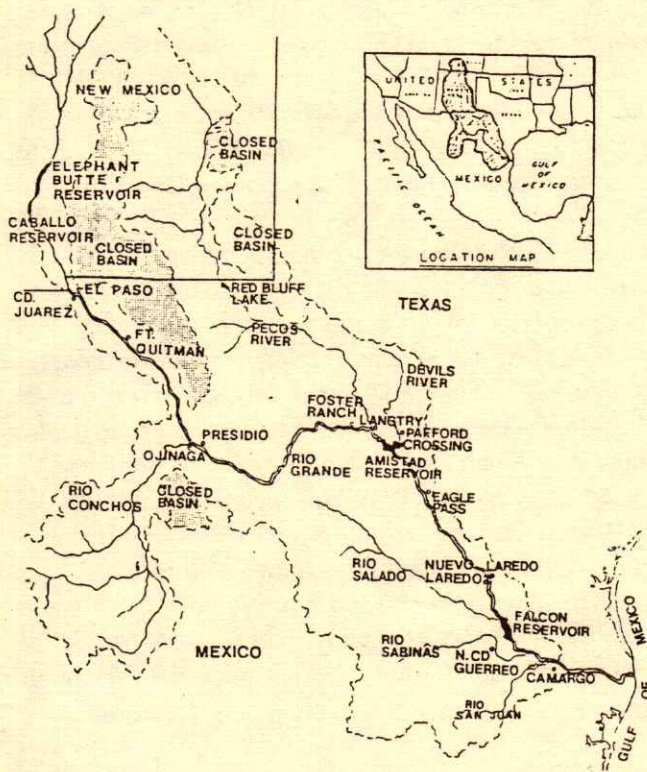


Figure 1. The Rio Grande (el Rio Bravo), its tributaries and drainage basins.

Grande below the El Paso-Hudspeth county line consists mostly of the return flow and occasional excess water and runoff from the adjacent areas. The annual rainfall in this section of the Rio Grande Basin averages 200 mm (7.8 inches), the lowest in Texas.

The Rio Conchos from Chihuahua is the major entry into the Rio Grande below Ft. Quitman and flows in just below Presidio (or Ojinaga, Chihuahua) which is located 454 km (284 miles) south of El Paso. This flow continues to Amistad Dam (design capacity 6.27 billion m^3 or 5.1 million acre-ft, constructed in 1968) located 500 km (312 miles) below Presidio. There is no major tributary that flows into the Rio Grande from the US side, until the inflow of the Pecos River at Langtry, TX, and the Devils River at Amistad Reservoir. The flow of the Pecos River is regulated at Red Bluff Lake at the New Mexico-Texas border, and it consists mostly of saline irrigation return flow. The flow of the Pecos River that enters the Rio Grande is a mixture of return flow and runoff from far west Texas. The annual rainfall in this section of the Rio Grande averages 250 to 300 mm (10 to 12 inches).

The Rio Grande between Amistad Dam and Falcon Reservoir (capacity 3.94 billion m^3 or 3.2 million acre-ft, constructed in 1954) is a long stretch extending 481 km (299 miles). There is no major tributary, but there are numerous creeks and draws that flow into the Rio Grande after storms. The annual rainfall in this section increases to 500 mm (20 inches). The Rio Grande below Falcon Reservoir to the Gulf of Mexico is the heart of the Lower Rio Grande, and extends 442 km (275 miles). The Rio Salado from Mexico is a major tributary that flows directly into Falcon Reservoir, and the Rio San Juan flows into the Rio Grande below Falcon. There are two major drainways on the US side of the Lower Rio Grande: the Main Floodway and the Arroyo Colorado. The latter is of special importance, because it flows directly into the Laguna Atascosa National Wildlife Refuge. The natural drainage flow is away from the Rio Grande eastward toward the Laguna. This area is outside the Rio Grande Basin, and is a part of the Nueces River Coastal Basin.

FLOW OF THE RIO GRANDE

The water released from Elephant Butte Dam has averaged 842 million m^3 (682 thousand acre-ft) annually during the period of 1969 through 1989 (IBWC data). A large portion of this flow is diverted to irrigate crop lands in New Mexico. The remainder and

return flow then reach El Paso at an annual rate of 547 million m^3 but with a great deal of yearly variation (Figure 2). As the flow reaches American Dam, 332 million m^3 has been diverted annually to the American canal which is the main supply canal for the El Paso Valley. The diversion to Mexico has amounted to 65 million m^3 annually, which is used to irrigate the Juarez Valley along with shallow ground water and municipal sewage. After diversion, the flow of the Rio Grande is reduced to 155 million m^3 annually. The flow increases somewhat due to the collection of irrigation return flow and municipal sewage water discharged from several plants from El Paso and adjacent communities.

The Rio Conchos that originates from the Mapimi drainage basin of the State of Chihuahua carries an average annual flow of 909 million m^3 at the point of inflow into the Rio Grande near Ojinaga. This flow is slightly greater than the annual release from Elephant Butte Dam, and forms the main flow of the Rio Grande in the stretch between Presidio and Amistad Dam. The Pecos River and the Devils River contribute 274 and 353 million m^3 annually to the flow of the Rio Grande,

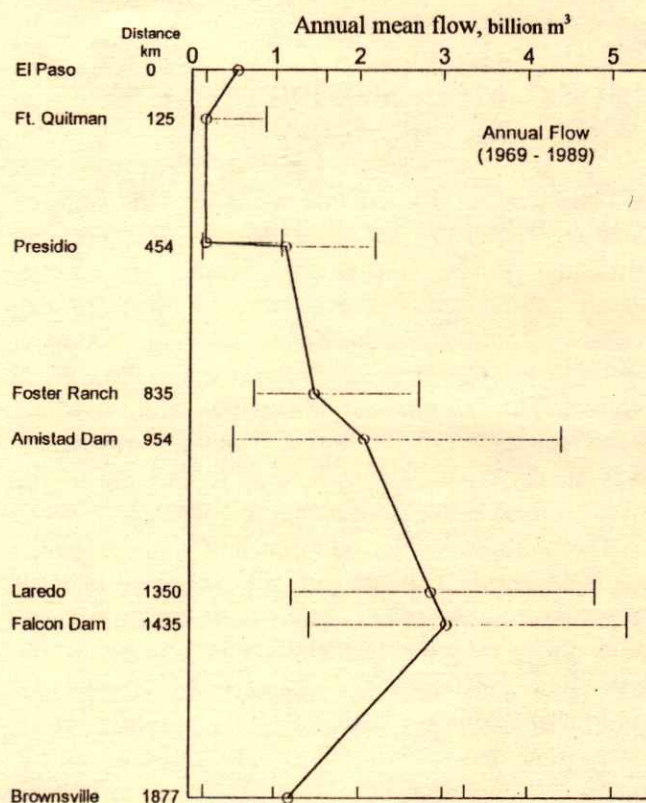


Figure 2. The average, the maximum, and the minimum flow of the Rio Grande at different locations during 1969 through 1989 (original data by IBWC).

respectively. All of these flows are stored at Amistad International Reservoir.

The discharge from Amistad Dam has averaged 2.06 billion m^3 annually since its construction in 1968. The diversion below Eagle Pass but above Laredo is minimal, and the Rio Grande gains flow and reaches 2.8 billion m^3 annually at Laredo. Below Laredo, there are several rivers and streams that flow into the Rio Grande. The Rio Salado from Mexico is one of the larger rivers and has contributed to the flow of the Rio Grande at an annual rate of 472 million m^3 . The combined flow reaches 3.0 billion m^3 annually at Falcon International Reservoir.

Below Falcon, the Rio San Juan (434 million m^3 year $^{-1}$) flows into the Rio Grande from the Mexican side at Camargo. The Rio Grande water is diverted between Rio Grande City and Anzalduas Dam at a rate of 292 million m^3 year $^{-1}$ for irrigation. The major diversion to Mexico is at Reynosa. The US side of the diversions are at Anzalduas Dam, Progreso and San Benito at a combined diversion flow of 919 million m^3 per year. When the Rio Grande reaches Brownsville, the flow decreases to 1.18 billion m^3 year $^{-1}$, which includes erratic flood water after a storm.

SALINITY AND SODICITY OF THE RIO GRANDE

Salinity of the Rio Grande at El Paso has averaged 2,230 $mg\ L^{-1}$ for the period of 1969 to 1989, but with substantial yearly fluctuation (Figure 3). Salinity increases as the water travels through the El Paso Valley toward Ft. Quitman, Texas. Salinity at the Ft. Quitman section of the Rio Grande is among the highest of all locations. The flow consists of irrigation return flow and treated sewage from El Paso and other communities. High salinity continues all the way to Presidio as the inflow of fresh water is limited in this segment.

The confluence of the Rio Conchos from Chihuahua causes an abrupt reduction in salinity at Presidio (or Ojinaga, Chihuahua). The saline flow from the Pecos which flows into the Rio Grande at Langtry below Foster Ranch increases salinity of the Rio Grande, but this impact is quickly buffered by the inflow of fresh water from the Devils River at Amistad. Below Amistad, salinity decreases slightly to a level of 800 $mg\ L^{-1}$ as the flow of fresh water dilutes return flow and saline flow from several tributaries. Salinity increases again to approximately 1000 $mg\ L^{-1}$, as the flow approaches the Gulf of Mexico.

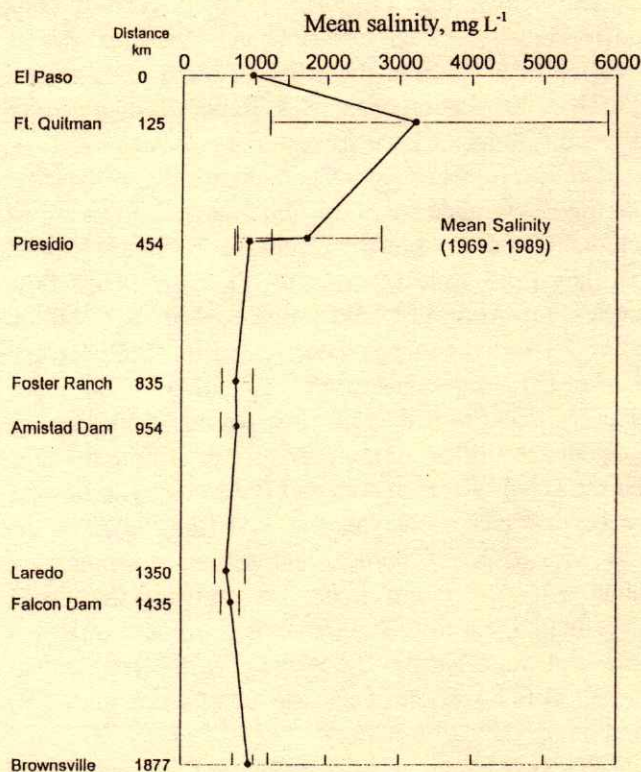


Figure 3. The average, the maximum, and the minimum annual mean salinity of the Rio Grande at different locations during 1969 through 1989 (original data by IBWC).

Sodicity of the Rio Grande is affected by the ionic composition of tributaries, and varies with locations and to some extent with year and month. Table 2 shows typical compositions at different locations during March 15 through September 15 which is the main irrigation season, and September 16 through March 14. The sodium adsorption ratio (SAR) of the Rio Grande at El Paso ranges from 3 to 6 depending on the season, and it increases to a range of 8.5 to 9.5 at Ft. Quitman. The sodicity of the Pecos river (7.5 to 9.0 in SAR) is also quite high. The sodicity of the Rio Conchos as well as the Rio Grande below the confluence of the Rio Conchos remains below 4, irrespective of the season. The seasonal effect on sodicity as well as on salinity appears primarily in the segment above Presidio and in the Pecos Basin. In the segment above Presidio, the flow during nonirrigation season decreases almost to a trickle. Sodicity and salinity of the Rio Conchos are affected by the annual pattern of rainfall which occurs mostly August through November.

The Cl to SO_4 ratio of the Rio Grande generally increases with increasing salinity or sodicity. This is not an unusual phenomenon as SQ and Ca ions often

Table 2. The average composition of water in the Rio Grande and tributaries during March 15 through September 15 and September 16 through March 14 (original data by IBWC).

River	Location	EC dSm ⁻¹	SAR	Cl/SO ₄	Na	Ca+Mg	HCO ₃ ⁻ meq L ⁻¹	Cl	SO ₄
Rio Grande, El Paso									
	3/15 - 9/15	1.0	3.1	0.61	5.11	3.46	3.54	2.51	3.52
	9/16 - 3/14	2.0	6.1	1.66	12.63	5.57	4.98	6.39	7.51
Rio Grande, FtQuitman									
	3/15 - 9/15	3.0	8.5	1.43	14.68	6.14	3.61	15.58	5.98
	9/16 - 3/14	3.7	9.5	1.46	25.87	6.63	4.69	19.44	10.59
Rio Conchos, Ojinaga									
	3/15 - 9/15	1.4	4.0	0.26	6.49	4.47	2.86	1.92	6.61
	9/16 - 3/14	1.0	3.0	0.24	4.72	6.00	2.60	1.27	8.37
Pecos River, Langtry									
	3/15 - 9/15	3.3	7.5	2.26	17.99	7.66	2.40	21.04	6.19
	9/16 - 3/14	4.3	9.0	2.07	25.51	6.32	2.85	27.52	8.63
Rio Grande, Amistad									
	3/15 - 9/15	1.3	4.0	0.89	6.52	1.57	3.11	5.01	2.91
	9/16 - 3/14	1.4	4.0	0.88	5.87	1.48	3.05	5.07	2.60
Rio Grande, Falcon									
	3/15 - 9/15	1.2	3.6	0.83	5.74	1.61	2.13	4.45	2.64
	9/16 - 3/14	1.2	3.7	0.82	5.00	1.41	2.13	4.59	2.55
Rio Grande, Brownsville									
	3/15 - 9/15	1.4	4.0	0.89	6.87	2.62	2.66	5.35	3.12
	9/16 - 3/14	1.6	4.3	0.88	7.66	2.13	3.77	6.28	3.31

precipitate with increasing water evaporation. The Pecos River has the highest Cl concentration, and the highest Cl/SO₄ ratios (Table 2). The Pecos River above Red Bluff actually has lower Cl/SO₄ ratios, but the ratio increases with precipitation of SO₄ plus the inflow of brine (NaCl) from a halite formation. The high concentration of Cl affects Cl concentrations of the Rio Grande all the way to Brownsville (Table 2).

The difference in ion composition of the water also affects the conversion coefficient from the electrical conductivity to total dissolved salt concentrations (Table 3). The highest conversion coefficient, 692 mg L⁻¹/dS m⁻¹, is at the El Paso section of the Rio Grande where the concentrations of Ca and SO₄ are comparatively high. The lowest coefficient, 618 mg L⁻¹/dS m⁻¹, is for the Pecos River which has comparatively high Na and Cl concentrations. The coefficients for the Rio Grande at Amistad is 661 mg L⁻¹/dS m⁻¹, and that at Brownsville, 658 mg L⁻¹/dS m⁻¹, which happens to coincide with the mean conversion coefficient for the Rio Grande.

SALINITY AND FLOW TRENDS

To examine the yearly trend, the annual mean salinity values were first computed by taking arithmetic means of monthly salinity records kept by the IBWC since 1969, the year after the construction of Amistad

Table 3. The conversion coefficients from the electrical conductivity to total dissolved salt concentration (Miyamoto *et al.*, 1995).

River	Location	Coefficient mg L ⁻¹ /dS m ⁻¹
Rio Grande	El Paso	692
Rio Grande	Ft. Quitman	670
Rio Conchos	Ojinaga	659
Pecos River	Ojinaga	618
Rio Grande	Amistad	661
Rio Grande	Falcon	661
Rio Grande	Brownsville	658

The mean conversion coefficient for the Rio Grande is 658 mg L⁻¹/dS m⁻¹.

Dam. The annual mean salinity and the annual flow are shown for the Rio Grande at Presidio below the confluence of the Rio Conchos, and for the release from Amistad and Falcon Dams (Figures 4A and 4B) as well as two tributaries at the points of confluence: the Rio Conchos at Ojinaga and the Pecos River at Langtry plus the tail water from the middle Rio Grande above Presidio (Figures 5A and 5B). The annual mean salinity as well as the annual flow of the Rio Grande at Presidio is influenced most significantly by the conditions of the Rio Conchos, and, to a limited extent, by the flow conditions of the Rio Grande below Fort Quitman. The flow from the Rio Conchos dominates the flow of the Rio Grande below Presidio. The annual mean salinity of

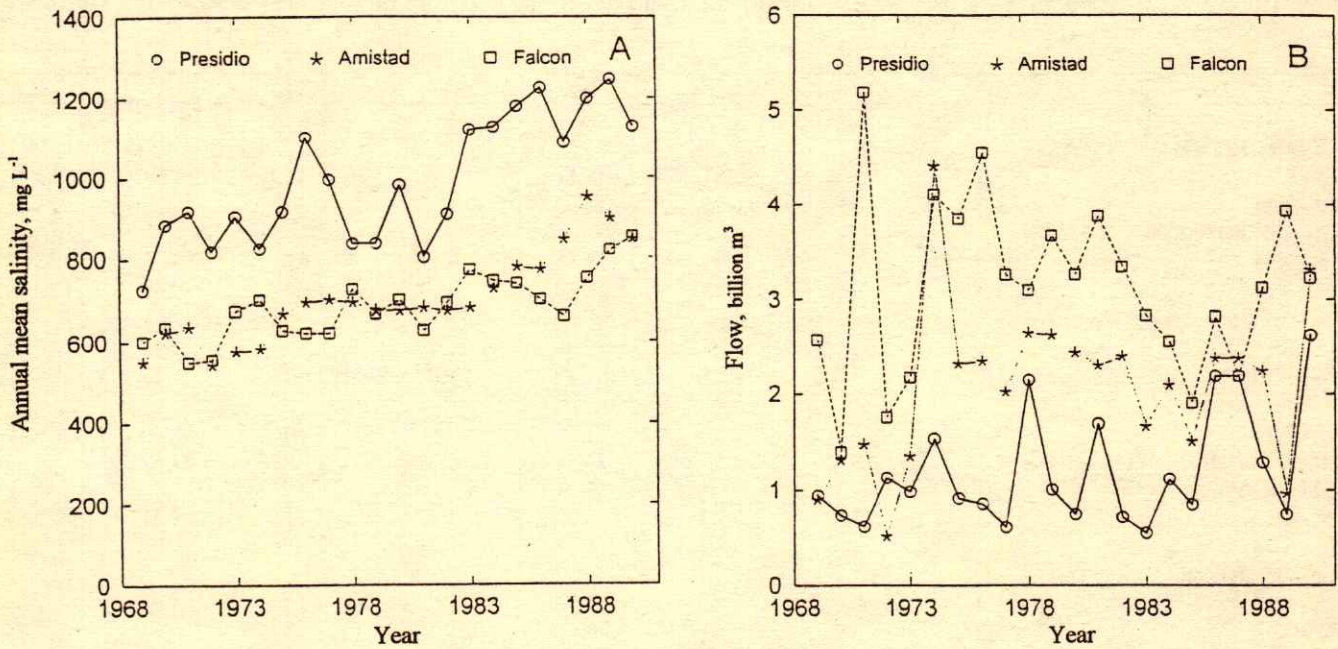


Figure 4. Changing annual mean salinity (Figure 4A) and annual flow (Figure 4B) of the Rio Grande at Presidio below the confluence of Rio Conchos, and the release from Amistad and Falcon Reservoirs.

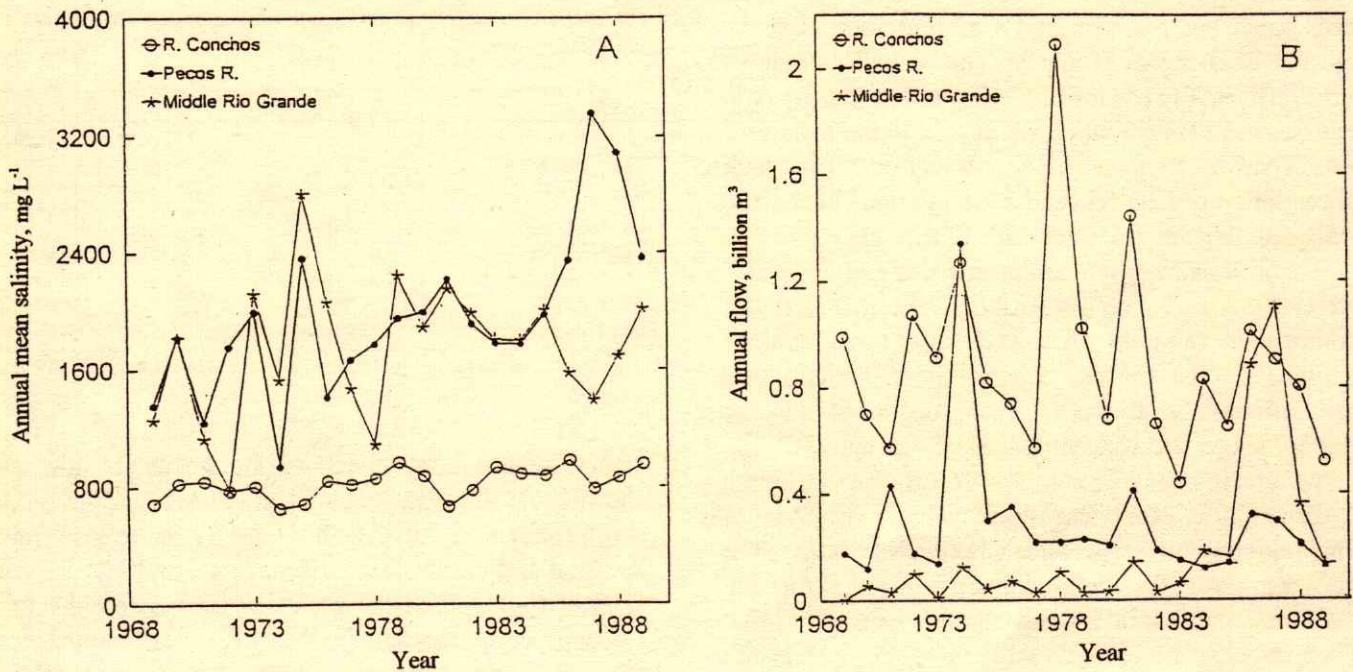


Figure 5. Changing annual mean salinity (Figure 5A), and annual flow (Figure 5B) of the Rio Conchos at Ojinaga, the Pecos at Langtry, and at the middle Rio Grande above Presidio.

Amistad Dam release has been lower than at Presidio, even though the saline water from the Pecos flows into the Rio Grande above Amistad. It was indicated earlier

that significant dilution is taking place in this segment of the Rio Grande, especially by the inflow of fresh water from the Devils River and small streams. The

annual mean salinity of Falcon Dam release has been similar to that of Amistad, even though the annual flow has been considerably larger at Falcon.

The annual mean salinity and annual flow trends were also examined at two terminal locations, El Paso and Brownsville. The salinity trend at El Paso was similar to the data shown for the middle Rio Grande in Figure 5. The salinity of the Rio Grande at Brownsville has virtually remained constant, even though the flow has declined in recent years. A plausible explanation for these observations is given later.

In order to examine salinity trends, the annual mean salinity values were fitted to the years since 1969, using linear regression. The results indicated significant correlation between the annual mean salinity and the years since 1969 at all locations examined, except at El Paso and Brownsville (Table 4). The rate of increase was largest at the Pecos River, 38 mg L⁻¹ per year. Salinity increases at Amistad and the Foster Ranch station were similar to each other, 15 mg L⁻¹ per year. If this trend continues, salinity of Amistad Reservoir is expected to increase to 1,000 mg L⁻¹ by the year 2000, or salinity will double the level of 1969 by the year 2004. Salinity increases at Falcon as well as Laredo were somewhat modest, 9.9 mg L⁻¹ per year. If trend continues, salinity at Falcon is projected to reach 880 mg L⁻¹ by the year 2000. The rate of salinity increase is higher in low rainfall areas (such as Pecos and Presidio) as compared to higher rainfall areas (e.g., Falcon and below). An exception was at Fort Quitman where salinity had significant negative correlation with the years since 1969, and this seems to be related to the increased flow in recent years (Figure 5B).

The annual flow was not significantly related to the years since 1969 when evaluated by linear regression or the autocorrelation analyses (Table 5). For details on autocorrelation, one may refer to Journal and Huijbregts (1978). The flow appears to fluctuate randomly with the coefficient of variation ranging from 29 to 88 percent (Table 5). The annual mean salinity had significant correlation with the annual flow at El Paso, Fort Quitman, and to a lesser extent ($p = 0.05$) at Brownsville (Table 5). No significant correlation was observed at all other locations examined.

Overall, two different patterns were observed: flow-dependent salinity at El Paso, Fort Quitman and Brownsville and flow-independent salinity at all other locations examined. The first pattern is probably related to the fact that the flow at El Paso and Fort Quitman consists of tail water, and that at Brownsville is a

mixture of tail water and spills. Salinity of the flow-through portion of the Rio Grande appears to be independent of the annual flow, but all show increasing trends, especially in drier parts of the Rio Grande Basin above Amistad.

SALT LOADING TREND

The estimate of annual salt loading was made based on the annual inflow and the annual mean salinity for the two main salt carrying tributaries, the Pecos at Langtry and the Rio Conchos at Ojinaga, plus for the tail water of the middle Rio Grande project above Presidio. The results (Figure 6A) indicate that salt loading from the tail water of the middle Rio Grande has increased sharply in recent years. This coincided with the increase in flow in recent years in the middle Rio Grande (Figure 5B). The high flow has somewhat lowered salinity (Figure 5A) but at the same time seems to have transported the salts downstream. The salt loading exceeded 1.5 million tons in a year during high flow. The salt loading from the Pecos also shows an increase, while the flow has been fairly stable since the flood of 1973. The salt loading from the Rio Conchos has been stable, since the flood of 1978. This can be attributed to the low flow in recent years. Judging from the record, the salt loading from this source is likely to increase during the next high flow.

The salinity of the composite flow made of the Rio Conchos, the Pecos and the tail water of the middle Rio Grande was then computed by using the assumption of mass conservation. The result is shown in Figure 6B along with the annual mean salinity measured at Amistad. Although a quantitative agreement can not be expected, the salinity trend of the composite flow is similar to the one observed at Amistad. This may indicate that the increasing salinity trend observed at Amistad is related at least in part to the increase in salt loading from tributaries, especially the Pecos River and the tail water of the middle Rio Grande. The gap between the estimated and the recorded salinity at Amistad is probably caused mostly by dilution, and to a limited extent, salt precipitation and time-lag. A complete analysis of salt loading in this segment of the Rio Grande is a priority task yet to be performed.

SALT BALANCE

The estimate of salt balance was made for the three segments; El Paso - Ft. Quitman, Ft. Quitman and

Table 4. The linear regression of the annual mean salinity with years since 1969 at various locations along the Rio Grande (original data from IBWC).

Location	River	Slope	r	intercept	1990	2000
		mg L ⁻¹ / year			mg L ⁻¹	
El Paso	Rio Grande	15.9	-0.57	-	-	-
Ft. Quitman	Rio Grande	14.5	-0.71*	5380	2200	-
Ojinaga	Rio Conchos	8.5	0.68*	751	923	1010
Presidio	Rio Grande	19.1	0.80**	1520	1200	1390
Langtry	Pecos River	37.7	0.64*	1600	2390	2770
Amistad	Rio Grande	15.2	0.89**	535	850	1000
Falcon	Rio Grande	9.9	0.79**	582	790	880
Brownsville	Rio Grande	2.3	0.16	910	960	-

*, ** Significant at 0.05 and 0.01 levels of probability.

Table 5. The linear regression of the annual flow with years since 1969, and the significance of autocorrelation for the annual flow and years, and the linear regression between the annual mean salinity and the annual flow at selected locations along the Rio Grande (original data from IBWC).

Location	River	Flow vs Years			Salinity vs Flow
		Linear regression	Autocorrelation	Coefficient of variation	r
		r		%	
El Paso	Rio Grande	0.49	N/S	62	-0.86**
Ft. Quitman	Rio Grande	0.54	N/S	34	-0.81**
Foster Ranch	Rio Grande	0.34	N/S	46	0.21
Near Ojinaga	Rio Conchos	0.16	N/S	48	0.03
Presidio	Rio Grande	0.40	N/S	53	0.09
Amistad	Rio Grande	0.49	N/S	41	0.19
Falcon	Rio Grande	0.05	N/S	29	-0.03
Brownsville	Rio Grande	0.44	N/S	88	-0.64*

*, ** Significant at 0.05 and 0.01 levels of probability.

Table 6. The summary of annual inflow and annual salt loads into Amistad and Falcon Reservoirs (the average from 1969 to 1989).

	Annual inflow		Salinity mg L ⁻¹	Salt load	
	million m ³	%		million tons	%
El Paso - Ft. Quitman					
Rio Grande	543	91	773	0.425	91
Sewage	30	9	1390	0.042	9
Subtotal	573	100		0.467	100
Ft. Quitman - Amistad					
Rio Grande	169	8	2083	0.352	19
Pecos River	274	13	1985	0.544	29
Rio Conchos	909	44	839	0.762	41
Others	711	35	263	0.187	10
Subtotal	2063	100		1.845	100
Amistad - Falcon					
Rio Salado	472	34	1280	0.604	52
Others	930	66	612	0.569	48
Subtotal	1402	100		1.173	100

Amistad, and Amistad to Falcon. The annual salt loading was computed from the monthly salinity and flow data for a period of 1969 through 1989, which was subsequently averaged. In some cases, the recorded outflow exceeded the recorded inflow. In such cases, the

difference was assumed to be caused by unrecorded inflow, such as storm water. The summary shown in Table 6 indicates that the annual salt loading in the segment between Ft. Quitman and Amistad averaged 1.845 million tons per year and between Amistad and

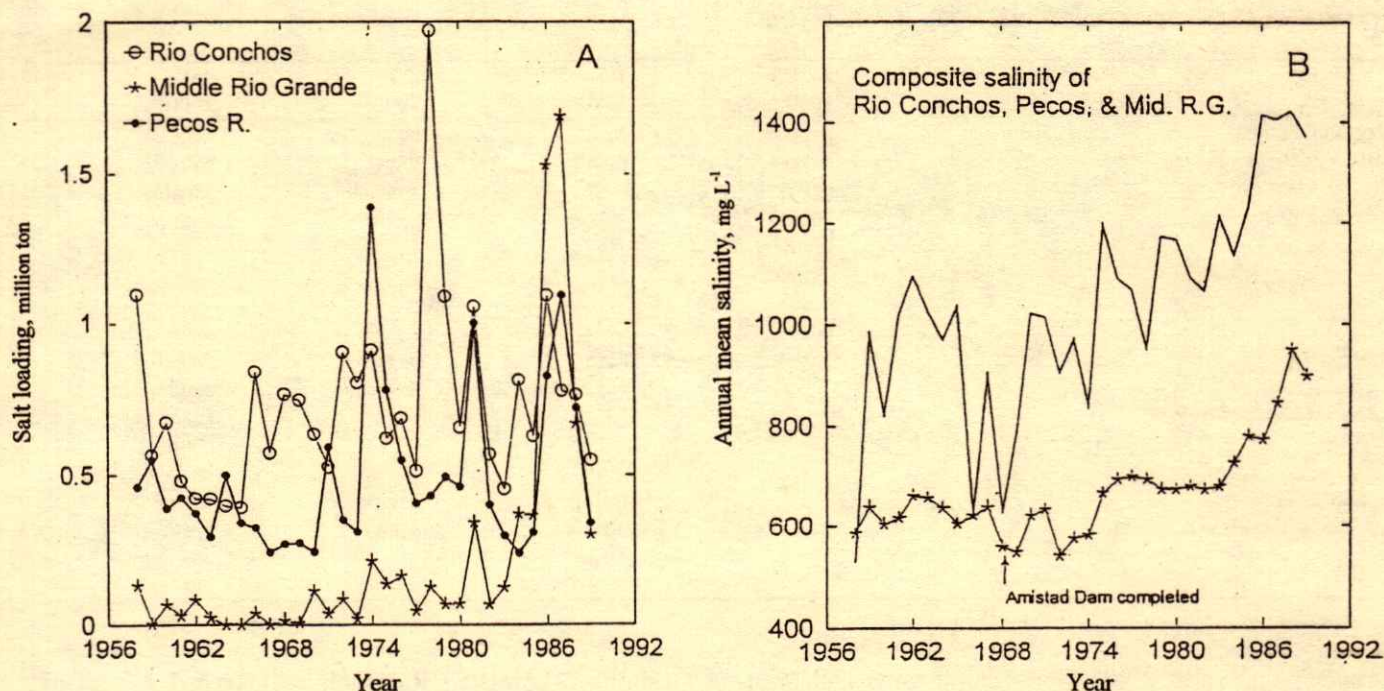


Figure 6. Changes in annual salt loading from the Rio Conchos, the Pecos and the middle Rio Grande (Figure 6A), and the estimated annual mean salinity of the composite flow with the actual annual mean salinity of Amistad Reservoir (Figure 6B).

Falcon, another 1.17 million tons per year. The Rio Conchos accounts for 41% of the salt loading, the Pecos River 29%, and the tail water of the middle Rio Grande, 19% in the segment between Ft. Quitman and Amistad. It should, however, be noted that the inflow from the Rio Conchos accounts for 44% of the total inflow in the same segment, while the combined flow of the Pecos and the middle Rio Grande accounts for 21%.

The salt transported out of the three segments was then estimated from the annual quantity of the diversion and the outflow, and respective concentrations, ignoring percolation losses. The quantity of salts transported out was then subtracted from the salt inflow to estimate the salt balance. The results (Table 7) show a positive balance in the two segments above Amistad, indicating potential salt accumulation in the range of 14 to 19% of the total salt inflow. In the segment between Amistad and Falcon, the salt balance seems to be slightly negative.

The fact that the salt balance above Amistad is positive is consistent with the observation that salinity at Amistad Reservoir has not attained the steady-state. The salt accumulation between Ft. Quitman and Amistad appears to be in an order of 0.357 million tons per year, which amounts to 19% of the salt inflow into the segment. A significant portion, roughly in an order

Table 7. The summary of the diverted annual flow and salts, and the unaccounted annual and cumulative salt balance.

	Annual flow million m ³ loading	Salt export million ton/year	Unaccounted	
			Balance	% of
El Paso - Ft. Quitman				
Diversion	397	-0.051		
Outflow	169	-0.352		
Subtotal	566	-0.403	+0.064 [†]	+14
Ft. Quitman - Amistad				
Diversion	194	-0.134		
Outflow	2063	-1.354		
Subtotal	2257	-1.488	+0.357	+19
Amistad - Falcon				
Diversion	424	-0.278		
Outflow	3465	-2.339		
Subtotal	3889	-2.617	-0.062 [†]	-5

[†] Positive signs indicate possible salt accumulation, and negative signs possible salt pick-up.

of 3.2 million tons (or an annual rate of 0.15 million tons since 1968) is stored in Amistad Reservoir itself (3.8 billion m³ storage). The accumulation along the flood plain above Amistad, which includes the El Paso to Ft. Quitman section is probably in an order of 0.27 million tons per year or 2.7 million tons for a decade. This may provide a reason why some of the salt loading values shown in Figure 6A far exceeded the average annual salt loading from applicable streams. It is

Table 8. Crops which can be grown satisfactorily with the specified ranges of salinity in permeable soils with the leaching factors greater than 15 % (Ayers and Wilcox, 1985).

	d Sm ⁻¹ mg L ⁻¹	< 1 660	1 - 1.5 1000	1.5 - 2.0 1300	2.0 - 3.0 2000	3.0 ⁺ 2000 ⁺
Vegetable crops		bean	pepper lettuce onion	corn potato	cucumber tomato spinach pistachio	beet squash asparagus date palm
Tree and fruit crops		strawberry	pecans plum almond peach citrus			
Field crops		bean		corn sugarcane	peanuts soybeans	wheat sorghum sugarbeet cotton barley fescue rye wheatgrass bermuda
Forage crops				trefoil alfalfa	cowpea sudan	

apparent that salts stored along the streams had been transported during the storms.

POTENTIAL IMPACT ON IRRIGATED CROP PRODUCTION

The adverse effect of salts on crop production varies with salt tolerance of crops, salinity control in the root zone and several other factors (Ayers and Westcot, 1985). Table 8 shows appraisal of irrigation water salinity for production of crops which are commonly grown in the Rio Grande Basin. The leaching fraction (LF) is assumed to be 15 percent or more. In heavy clay soils of the Rio Grande, the leaching fraction can be lower than 15 percent and if so, given crops may be adversely affected when irrigated with water of the specified salinity.

The majority of water in the Rio Grande below Amistad Dam has the salinity range of 1 to 1.5 dS m⁻¹ as reviewed earlier. This level of salinity allows the production of high value crops, namely chile peppers, green peppers, onion, citrus, pecans and peaches which are economically important crops on both sides of the border. However, even at irrigation water salinity of 1 dS m⁻¹, salt damages have occurred to pecans planted in clay textured soils (Miyamoto *et al.*, 1986a). Erratic stands of many vegetable crops, especially pepper and onions under furrow irrigation have also been observed (e.g., Miyamoto, *et al.*, 1986b). If salinity of the Rio Grande continues to increase at the current rates,

salinity at Amistad Reservoir will exceed 1.5 dS m⁻¹ (1,000 mg L⁻¹) by the year 2000 and at Falcon by the year 2010. This can have a significant impact on production of salt sensitive crops in the Lower Rio Grande.

Field and forage crops can be grown satisfactorily at higher levels of salinity (Table 8). However, their cash outputs per unit quantities of water used or per land area are usually a fraction of those of vegetable and tree crops. Cropping patterns in high saline areas such as the Pecos, Presidio and Fort Quitman areas have already changed to forage, cotton and grains. However, this has caused a significant reduction in profit and a severe reduction in irrigated acreage (Table 9).

The acreages shown in Table 9 are the areas irrigated directly by the Rio Grande or its tributaries. In Trans-Pecos, farm lands in excess of 110,000 ha were once irrigated with saline ground water. Likewise, farm lands in the Presidio Valley were once irrigated with both surface and ground water. All of these areas were abandoned in recent years with a combination of difficulties. High salinity imposes an additional constraint for irrigated crop production which has been operated by and large with low profit margins. Even though many on-farm management techniques are available for reducing salt hazards, water of low salinity is essential for successful production of high value horticultural crops. It should also be kept in mind that salt leaching or applications of gypsum to cope with sodium problems will not reduce salinity or sodicity of

Table 9. Approximate areas of irrigated land during a peak period and 1991 (original data IBWC).

Segments	Salinity mg L ⁻¹	US		1 000 ha	Mexico	
		Peak	Current		Peak	Current
Rivers						
Lincoln, Mesilla	< 660	(38.8)	(33.8)		0	0
El Paso - Ft. Quitman						
El Paso	<1 000	18.6	16.7		6.5	5.3
Hudspeth	<3 000	11.2	6.9		0	0
Ft. Quitman - Amistad						
Presidio	<2 500	1.6	0.1		1.3	0.7
Rio Conchos	≈ 840	0	0		(153)	(126)
Pecos	<2 400	*	(0.8)		0	0
Amistad - Falcon						
Del Rio/Laredo	< 850	22.2	21.2		2.8	2.5
Rio Salado	<1 500	0	0		(49)	(25)
Falcon - The Gulf	< 800	310	290		204	204
Rio Alamo/San Juan	<1 500	0	0		(106)	(82)
Total (El Paso - The Gulf)						
Tributary irrigated		-	(5.2)		-	(230)
Rio Grande irrigated		403	365		215	213

* The Pecos area was once irrigated with saline ground water in excess of 100 000 ha.

the Rio Grande, but rather transfer the problem from one's field to downstream.

In addition to salt stress, several crops are known to suffer from specific ion toxicity involving Na and Cl (e.g., Ayers and Westcot, 1985). The toxic effect of Na appears primarily in tree crops, especially in pecans (Miyamoto *et al.*, 1985). Likewise, Cl toxicity often appears in tree crops, and Cl concentrations of the Rio Grande water are approaching the threshold established for citrus and some prunus species.

Sodicity of irrigation water has a major impact on structural stability of soils and permeability. The structural degradation of soils increases with increasing sodicity, but is also influenced by soil types, salinity levels, and soil management practices. In general, soil structural degradation is at maximum when soils are mechanically pulverized and brought into contact with water of low salinity such as rain water. Figure 7 shows an increase in suspended solids in drainage water with increasing sodicity. Three typical alluvial soils of the Rio Grande were leached with rain water, and suspended solids measured (Miyamoto, 1989). Coarse-textured soils such as Gila loam tend to disperse more readily than fine-textured soils, and the dispersed particles are transported by water. The dispersion

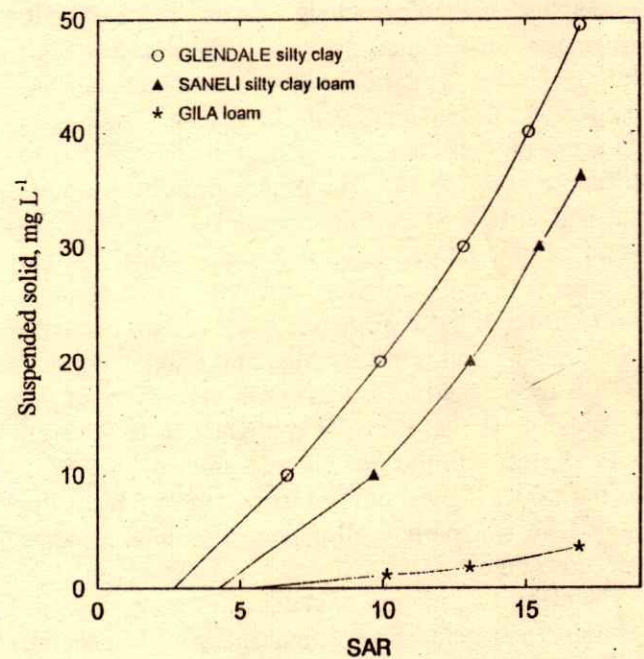


Figure 7. Suspended solids in leachate when three alluvial soils having different sodium adsorption ratio (SAR) in the saturation extract were leached with distilled water (Miyamoto, 1989).

Table 10. The summary of the salt balance in the segment between Ft. Quitman and Amistad, and the salt balance under hypothetical water control scenarios.

	Actual		Hypothetical 1†		Hypothetical 2†	
	Annual Flow mil m ³	Annual Salt mil ton	Annual Flow mil m ³	Annual Salt mil ton	Annual Flow mil m ³	Annual Salt mil ton
Inflow						
Three tributaries	1352	1.66	1352	1.66	909	0.76
Fresh water	789	0.21	0	0	789	0.21
	2144	1.87	1352	1.66	1698	0.97
Evaporation	-58	0	-58	0	-58	0
Outflow						
Diversion	-20	0.01	-20	0.01	-20	0.01
Outflow	-2063	1.35	-1274	1.14	-1620	0.71
Balance	0	+0.51	0	+0.51	0	+0.25
(Concent., mg L ⁻¹)	(650 ~ 900)		(900 ~ 1300)		(440 ~ 570)	

† Hypothetical 1: assume no freshwater inflow for dilution, Hypothetical 2: assume no flow from the middle Rio Grande or the Pecos river.

increases rapidly when the sodium adsorption ratio (SAR) exceeds 3 to 4. Suspended solids are the principal carrier of pesticides, metals, and phosphorus from irrigated fields to surface water.

The sodicity of the main flow of the Rio Grande is in the range of 3 to 4 in SAR (Table 2), whereas the sodicity of some tributaries (e.g., the Pecos river) and of the flow between Fort Quitman and Presidio is considerably higher, reaching 8 to 10 in SAR. Municipal sewage water from El Paso also has SAR values of 6 to 8. Irrigation with the sewage water has caused soil dispersion, soil hardening, and crop establishment problems in the El Paso Valley (Miyamoto *et al.*, 1984). The principal problem occurs at the soil surface where salts accumulate following the upward capillary flow and water evaporation. During this process, Ca precipitates, and salt concentrations increase. Both of these processes cause a sharp increase in SAR at the soil surface (Miyamoto and Pingitore, 1993). A recent field measurement in the surface of the crop beds shows that the SAR can reach 10 to 25 even when irrigated with the Rio Grande water having SAR of as low as 3.1 (Miyamoto and Cruz, 1987). This is the range where soil particle dispersion becomes a major proportion (Figure 7).

The effect of sodicity on water infiltration depends on salinity, soil type, and soil management. In general, reducing salinity increases the adverse effects of Na. Thus, sodicity has the greatest impact on infiltration of rain water. Also, the soils that are mechanically pulverized, e.g. by excessive disking, are most subject to the adverse effects of sodicity. The soils with minimal tillage and those having sod covers are less susceptible

to the dispersing effect of sodium. Under sodded conditions, the primary water conduction occurs through macropores, and structural cracks developed by swelling and shrinking. The primary cause of this reduction in infiltration rate is usually related to rapid disintegration of weak soil aggregates at the soil surface, which forms an effective seal in fine-textured soils. The SAR/EC ratios or SAR of the Rio Grande in most part range from 3 to 5. This range of sodicity should be viewed as a factor of reducing water infiltration when the soils are pulverized excessively with disking. Increasing sodicity to a range of 6 to 8 in SAR/EC ratio or SAR usually results in a notable reduction in water infiltration rates in pulverized soils (Miyamoto, 1989). Poor water infiltration not only affects crop production, but also increases surface ponding and/or runoff, thus contributing to water quality degradation.

IMPLICATION TO WATER MANAGEMENT

Dilution has been the most pragmatic method of dealing with salt problems. Undoubtedly, this is the process which keeps salinity under control below Amistad Dam. Even above Amistad, dilution is also an important process. If fresh water inflow from the Devils River and small streams were absent, the salinity of Amistad Reservoir would be in a range of 900 to 1300 mg L⁻¹, instead of the current level of 850 mg L⁻¹ (Table 10). A potential may exist to enhance water yields and small stream flow for dilution. Realistically, however, economic developments have traditionally curtailed opportunities for dilution by increasing utilization of fresh water resources. This is likely to be

the scenario along the Rio Grande, as already evidenced in the El Paso/Juarez section. This scenario may also be played out along the Rio Conchos with increasing economic developments.

Assuming that opportunities for dilution are likely to be limited in the future, strategies to control salinity must then focus on either increasing salt removal, minimizing salt inflow into the Rio Grande, or reducing evaporative losses of water, which concentrate salts. Although techniques to remove salts such as reverse osmosis and electrodialysis exist, they are not suitable for a basin-wide salinity control objective. The quantities of salts that must be removed are in an order of a million tons every year in the upper reach alone (Table 6). Therefore, the solution to increasing salinity of the Rio Grande may have to rely more on reducing salt inflow. If the flow of the Pecos and the tail water of the middle Rio Grande is totally diverted, the salinity of the Rio Grande at Amistad can be held at around 500 mg L^{-1} , instead of the current mean level of 850 mg L^{-1} (Table 10). The total diversion of these streams is of course not a realistic proposal from the view of costs, reduced water supplies and for maintaining base flow for habitat protection. A logical approach may be to take measures to divert small concentrated saline water sources away from the tributaries.

Fortunately, many of the saline inflows are confined to certain geo-topographical formations. In the case of the Pecos River, for example, saline seeps that enter the river in the Malaga Bend area are considered among the major sources of salts (Hale *et al.*, 1954). Likewise, irrigation return flow is to some extent a point source of discharge, and some of these sources are also controllable. The diversion option is currently used only to a limited extent in the Rio Grande Basin; e.g., the disposal of the Morillo drain into the Gulf, and an experimental pumping and transport of saline seeps at Malaga Bend. These measures will also help reduce sodicity as these saline waters consist of NaCl. Future research should include the identification of salt sources having a potential for control and their impact on salinity of the Rio Grande.

Another challenge is the control of irrigation return flow. Substantial quantities of return flow can be reused through dilution or blending (Rhoades *et al.*, 1988). However, as salinity of the blend becomes high enough to exceed salinity limits for crop production, it must be viewed as a case of water contamination. A practical problem is that salinity of most return flow is not high enough to justify disposal by evaporation or injection,

especially when considering a widespread grower sentiment that salty water is better than no water. The reuse of saline agricultural drainage water without dilution requires the development of highly salt tolerant crops and/or saline aquaculture, plus disposal options for the concentrated saline water. Irrigated cultivation of highly salt tolerant forage grass seems to offer a good potential for disposing of brackish water (Miyamoto *et al.*, 1994).

The diverted saline water must be disposed of in a manner consistent with environmental protection objectives. This usually means evaporation and deep well injection, unless ocean or inland lake disposal option is feasible. The reduction in the volume and mobility of saline water through transpiration is another option, at least as an intermediate step. The thick stand of *Tamarix* which infests the banks of the Rio Grande between Ft. Quitman and Presidio, and along the Pecos below Red Bluff obviously help to reduce the volume and mobility of the tail water. However, these processes are occurring within the flood plain and the stored salts seem to become mobile. A construction of a flood-bypass ditch may alleviate this problem. In California,

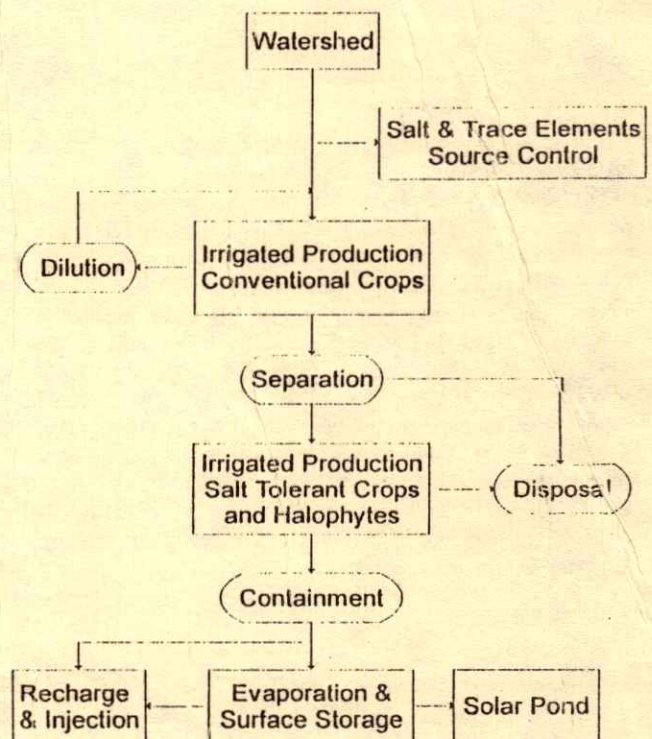


Figure 8. A conceptual water management scheme designed for salinity control in a basin-wide scale (Miyamoto and Mueller, 1994).

artificial planting of salt tolerant trees is advocated for the purpose of disposing of saline agricultural drainage water (Westcot, 1988), and in Australia, to reduce the mobility of saline seeps (e.g., Greenwood, 1986). In the Rio Grande, there is no shortage of Tamarix, but it is necessary to learn how to manage them for salt storage.

The ultimate disposal of salts is containment, provided that the ocean disposal is not allowed (Figure 8). There are some advancements in saline solar pond technology, but the quantity of salts which can be generated from saline water far exceeds the current demand. It seems that the market for salts has to be developed if the containment option is to be pursued. Meantime, there is a need to improve technology to separate saline water from main flow, and to utilize it before land disposal. The utilization of saline water should incorporate the removal of certain elements which can become hazards to wildlife, such as Mo, V, Hg and Cd (Miyamoto and Mueller, 1994). A creation of saline wetlands in closed basin may also deserve some attention. Overall, future water management strategy should focus on utilizing or disposing of highly saline water away from the main flow of the Rio Grande and its tributaries. Otherwise, the process of salinization is likely to continue in the upper reach where rainfall is minimal.

LITERATURE CITED

- Ayers, R.S. and D.W. Westcot. 1985. Water quality for Agriculture. FAO Pub. 29. Rome.
- Eaton, D.J. and D. Hurlbut. 1992. Challenges in the Binational Management of Water Resources in the Rio Grande/Rio Bravo. US-Mexico Policy Report No. 2, Lyndon B. Johnson School of Public Affairs. The Univ. of Texas at Austin. Austin, TX.
- Greenwood, E.A.N. 1986. Water use by trees and shrubs for lowering saline ground water. *Reclam. & Reveg. Res.* 5: 423-434.
- Hale, W.E., L.S. Hughes, and E.R. Cox. 1954. Possible improvement of quality of the Pecos River by diversion of brine at Malaga Bend, Eddy County, New Mexico. USGS Water Quality Division.
- International Boundary and Water Commission. Flow of the Rio Grande and Related Data. IBWC. El Paso, TX (Annual Reports).
- Journal, A.G. and C.J. Huijbregts, 1978. Mining Geostatistics, Academic Press. New York.
- Lewis, S.J. and G. Ormsby. 1990. Summary Report on Water Pollution Due to Industrial Development in Northern Mexico. National Toxic Campaign Fund Acton, MA.
- Miyamoto, S., L.B. Fenn, and D. Swietlik, 1995. Flow Salts and Trace Elements in the Rio Grande: A Review. TWRI/TAES. Mis. Pub. 176.4
- Miyamoto, S. and W. Mueller, 1994. Irrigation with saline water, certain environmental implications. In: "Proc. of Symposium on Salt-Affected Soils". Inter. Soil Sci. Soc. Cong. Acapulco, Mex. (In Press).
- Miyamoto, S., and N. Pingitore. 1993. Predicting Ca and Mg precipitation in evaporating saline solutions. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 56: 1767-1775.
- Miyamoto, S. 1989. Causes and remedies of slow water infiltration in orchard soils. Proc. West Pecan Conf. Las Cruces, NM.
- Miyamoto, S. and I. Cruz. 1987. Spatial variability of soil salinity in furrow-irrigated Torrifuents. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 51: 1019-1025.
- Miyamoto, S., G. Picchioni, and B. Storey. 1986a. Salinity: A major factor of poor tree performance in irrigated pecans. *Pecan South. July-August Issue* p. 14-17.
- Miyamoto, S., G. Gobran, and K. Piela. 1985. Salt effects on growth and ion uptake of three pecan rootstock cultivars. *Agron. J.* 77: 383-388.
- Miyamoto, S., C. Stichler, and J. Moore. 1984. An overview of saline water irrigation in far west Texas. Proc. Water Qual. Conf. Flagstaff, AZ. p. 222-230.
- Popp, C.J., D.K. Brandvoldi, T.R. Lynch, and L.A. Brandvold. 1983. An evaluation of sediments in the middle Rio Grande, Elephant Butte Reservoir and Caballo Reservoir as potential sources for toxic materials. Tech. Comp. Report. WRRRI No 161 New Mex. WaterResour. Res. Inst. Las Cruces, NM.
- Rhoades, J.D., F.T. Bingham, J. Letey, P.J. Pinter, Jr., R.D. Lemert, W.J. Alves, G.J. Hoffman, J.A. Replogle, R.V. Swain, and P.G. Pacheco. 1988. Reuse of drainage water for irrigation: Results of Imperial Valley Study. *Hilgardia* 56: 1-44.
- U.S. Fish and Wildlife Service. 1986. Preliminary survey of contaminant issues of concern on National Wildlife Refuges: Washington, D.C., 162 p.
- Wells, F.G., G.A. Jackson, and W.J. Rogers. 1988. Reconnaissance investigation of water quality, bottom sediment, and biota associated with irrigation drainage in the Lower Rio Grande Valley and Laguna Atascosa National Wildlife Refuge, TX 1986-87. USGS Report 87-4277.
- Westcot, D.W. 1988. Reuse and disposal of high salinity subsurface drainage water: A review. *Agr. Water Mgt.* 14: 483-511

MANAGING SOIL ENVIRONMENTS FOR TREE CROPS

Manejo del Medio Ambiente Edáfico para Cultivos Arbóreos

S. Miyamoto¹, D. Swietlik², L.B. Fenn¹, and V. Lee³

SUMMARY

Performance and profitability of tree crop production are highly dependent upon soil selection and management of soil and water. Yet, many tree growers have experienced difficulties in establishing a comprehensive soil and water management program. This paper outlines the basic steps involved in establishing soil improvement, soil and floor maintenance, and water management programs, using primarily the experience with irrigated pecans, pistachios, and citrus. The process of developing a management program begins with the understanding of growth requirements of the tree crop, followed by the soil survey and examination. If the soil profile is unsuited for root developments, it can be improved by deep chiseling, trenching or deep plowing. If soil salinity is elevated, the salts should be leached, preferably prior to tree planting. Soil surface structure is usually maintained by spiking, shallow chiseling, sand topdressing, sodding and/or by the use of chemical amendments. Water and salinity control is usually achieved by various measures to improve or equalize soil permeability, and dual uses of irrigation calendars and soil moisture monitoring. The control of irrigation quantity per application is as important as irrigation timing, especially in stratified, poorly permeable soils, and silty soils with high water retention capacity. Nutrient management can be enhanced through improved soil, water and salinity management in conjunction with leaf tissue and soil analyses. Sodding is an environmentally friendly and cost-effective orchard floor management technique, but it can present severe nutrient competition to tree crops. From a pragmatic point of view, "reading" of soil profiles for suitability for root growth and water penetration, and "balancing" various components of management seem to hold the key for successful tree crop production.

Index words: Tree crops, management, salinity, deep chiseling, maintenance.

RESUMEN

La adaptación, rentabilidad y producción de cultivos arbóreos es altamente dependiente de la selección del suelo para plantarlos y del manejo del suelo y agua. Todavía muchos agricultores (nogaleros, citricultores, etc.) han tenido experiencias muy difíciles en establecer un programa adecuado en el manejo del suelo y el agua. Este artículo señala los pasos básicos involucrados en el establecimiento de programas de mejoramiento del agua, usando primeramente las experiencias con nogales, cítricos y pistachos bajo riego. Los procesos para desarrollar un programa de manejo se inician con el entendimiento de los requerimientos del árbol para su desarrollo, seguido por un estudio de los suelos. Si el perfil del suelo no es adecuado para el desarrollo de las raíces, puede ser mejorado mediante un subsoleo profundo, barbecho profundo o zanjeo. La estructura superficial del suelo, usualmente es mantenida mediante subsoleo superficial, o la adición de arena, materia orgánica o mejoradores químicos; si la salinidad es elevada, debe lavarse antes de plantar. El control del agua y la salinidad se logra por varios medios para mejorar la permeabilidad del suelo y mediante el uso de calendarios de riego y monitoreo de la humedad del suelo. El control del agua por aplicar es tan importante como el tiempo de riego, especialmente en suelos estratificados y poco permeables, así como en suelos con una alta retención de humedad. El manejo de los nutrimentos puede mejorarse a través de mejorar el suelo, el manejo de la salinidad y el agua, en conjunto con los análisis de suelo y tejido vegetal. Los cultivos de cobertera (zacate) desarrollan un medio adecuado y efectivo para el manejo superficial del suelo, pero pueden presentar una competencia seria de nutrimentos con el cultivo arbóreo. Desde un punto de vista pragmático, describir el perfil del suelo para un buen desarrollo radical y penetración del agua, así como balancear los diferentes componentes del manejo, parece ser la llave para tener éxito en la producción de los cultivos arbóreos.

¹ Soil and Water Science, Texas A&M Univ. Agr. Res. Ctr., El Paso, USA.

² Plant Physiology, Texas A&M Univ. Kingsville, Citrus Ctr., USA.

³ Soil Fertility, Univ. of Tamaulipas, Cd. Victoria, Mexico.

Aceptado: Enero de 1996.

Palabras clave: Cultivo arbóreo, manejo, salinidad, subsuelo, programas mantenimiento.

INTRODUCTION

In commercial farming, a farm is at times viewed as a factory where a crop or crops are produced under a specific set of input guidelines. The input guidelines are usually developed based on growth and harvesting requirements of the crop. The growth requirements (such as the optimum range of soil moisture, salinity, fertility etc.), of course, vary with crops and their developmental stages. Typically, tree crops prefer deep well-drained soils, moderate levels of soil moisture and fertility levels, and are usually sensitive to water-logging, poor aeration, salts, and soil physical impedance. It is a prerequisite for tree growers to keep an eye on the information on growth requirements reported from various sources, but principally by research horticulturists and experienced agricultural agents.

Once the growth requirements of a given tree crop are understood, growers must then attempt to improve or manage the soil so as to meet the growth requirements, and at times, the harvesting requirements. In this undertaking, soils play an important and vital role. The soil is the dominant part of the factory, yet it has never been developed with uniform specifications. Some fields may consist of clay soils, others may consist of sandy soils. Some soils are hard or become hard. Some soils are acidic and others may be alkaline. This wide-variation in soils and subtle changes in soil properties present wide-variations in yield and crop quality, as well as complications in orchard management.

How do we develop a program useful for improving or managing variable and changing soil environments for a given tree crop? This paper outlines the necessary steps, using primarily the experience from irrigated pecans and pistachios in the Southwestern USA and Northern Mexico, and irrigated citrus in the Lower Rio Grande Valley of Texas and the State of Tamaulipas. For other tree crops, specific details may have to be adjusted to their respective growth requirements.

SOIL SURVEY AND EXAMINATION

Soil survey is among the most critical phases in establishing a soil and water management program, and provides a foundation to develop soil-based orchard management. A soil map is most useful for determining

the distribution of different types of soils. If not available, an aerial photograph may be used. An aerial photo when taken with growing crops or vegetation is especially effective in defining the boundaries of different soils or the problem areas in large orchards.

Once the distribution of different soil types is identified or speculated, soil pits should be made in each of the areas, if applicable, near the tree. This allows for an examination of root development patterns. Soil examination is a diagnostic process and includes soil horizon identification, determination of hardness, structure, texture and soil moisture status of each of the horizons. It is also recommended to note, if applicable, the depth to the water table, and to test the soil and water for salinity, sodicity, soil reaction, and, if deemed necessary, potentially phytotoxic ions or trace elements (e.g., Cl, B, Li). If dead roots are encountered, they should be noted along with the condition of applicable soil horizons.

Interpretation of the soil property, especially "reading" of soil profiles for water and root penetration, requires some experience. In general, the presence of impervious clay or water tables which fluctuate in and out of the root zone signals a potentially serious problem in supporting commercial production of most tree crops (e.g., Alben, 1958). What constitutes a high water table depends on soil types and tree species, but usually ranges from 120 to 180 cm deep. Fluctuating water tables are generally more damaging than shallow stationary tables, as roots experience difficulties in adjustment. When the soil contains a petrogenetic hard pan or a calcic horizon (caliche), root developments of tree crops are usually restricted unless the pan is physically destroyed. High contents of caliche also lower availability of certain micronutrients. When the soil is strongly stratified with an abrupt change in texture (as often the case in young alluvial soils), water penetration is usually deterred at the boundary, and over-irrigation of such soils often results in tree ailing or mortality. When sodicity of the soils, expressed in the exchangeable Na percentage or the sodium adsorption ratio of the soil saturation extract, exceeds a range of 5 to 15, the soil may be subject to structural degradation, principally the dispersion of soil aggregates (Abu-Sharar *et al.*, 1987). This problem is, however, usually amendable.

The interpretation of soil suitability based on salinity, chloride or boron concentrations depends on tree species and, at times, upon the cultivar and rootstock used. Examples are shown in Table 1 for

citrus and pecans (Ayers and Westcot, 1985; Miyamoto *et al.*, 1986a; Picchioni *et al.*, 1990, 1991). Salt or chloride tolerance of citrus and pecans varies widely with rootstock species (Miyamoto *et al.*, 1985; Storey, 1995), whereas this is not the case with pistachios (Picchioni *et al.*, 1990). Some tree crops, such as pistachios and date palms can tolerate high levels of salinity as well as high boron concentrations (Picchioni *et al.*, 1991). Sodium chloride-induced salt problems in citrus can be moderated in the presence of Ca and SO_4 (Zekri and Parsons, 1990a).

Once the soil distribution and their characteristics become known, management units which have similar soil types should be established. The management units may or may not coincide with existing irrigation blocks or production units which are usually made for the convenience of irrigation.

WATER EXAMINATION

The quantity of water required to grow tree crops varies with tree sizes, time of year, irrigation efficiency, the atmospheric evaporative demand, the wetted area, the extent of weeds or intercropping, and with irrigation frequency (Miyamoto, 1983, 1984, 1985). In other words, it is not easy to quantify. However, the upper limit of water requirements should ordinarily not exceed the pan evaporation rate. Table 2 shows the maximum rate of water supply needed to meet the evaporative demand in a 100 ha orchard during summer months at several locations. The real water need will obviously decrease with rainfall and decreasing tree sizes. In addition, it is necessary to have water supply rates high enough to achieve good distribution of water.

Water quality, especially salinity, sodicity, Cl and boron concentrations should be checked. Salinity of the water used for irrigation of salt sensitive crops such as citrus and pecans should not exceed 1 dS m^{-1} in clay, and clayey soils with stratification, and higher values in more permeable soils (Table 3). The salinity guideline can be adjusted upward in supplemental irrigation areas with rainfall sufficient to leach salts. Citrus orchards in the Lower Rio Grande Valley with an annual rainfall of 400-600 mm are typically irrigated with water having salinity from 1 to 1.6 dS m^{-1} and on occasion as high as 2.0 dS m^{-1} . With good water management practices and where no perched water tables develop, no visible adverse effects are observed on soils whose texture ranges from deep sandy loam to clay loam. Sodicinity of irrigation water affects soil structural stability at the

Table 1. General guidelines for soil selection criteria for Citrus and Pecans.

Soil profile characters	Suitability
Clay, silty clay	not suitable
Fluctuating high water table	not suitable
Hard pan, stratified	amendable
Sodicity > 5 ~ 15	amendable
Salinity > $2.5 \sim 3.5 \text{ dS m}^{-1}$	amendable
Chloride† > $350 \sim 880 \text{ mg L}^{-1}$	amendable
Boron > $1 \sim 2 \text{ mg B L}^{-1}$	potentially amendable

† For citrus only.

Table 2. The maximum rates of water supply needed for growing tree crops in 100 ha in several locations with various wetted areas under no rainfall.

Location	Summer Pan E 100% cm day ⁻¹	Supply rate at wetted area				
		20	40	60	80	
		----- L sec ⁻¹ -----				
El Paso, TX	1.16	27	53	80	107	134
Jimenez, Chih.	0.96	22	44	66	88	111
Hermosillo, Son.	0.92	21	42	63	85	106
Weslaco, TX	0.70	16	32	49	65	81

Table 3. Suggested water quality criteria for irrigated pecans and citrus.

Soil texture	Salinity limit dS m^{-1}	Sodicity limit SAR	Boron limit	Chloride† limit ppm
Clay	< 1	< 3	< 0.5	< 200
Loam	1 ~ 2	3 ~ 8	0.5 ~ 1	200 ~ 400
Sand	2 ~ 2.5	8 ~ 10	1 ~ 1.5	400 ~ 600

† For citrus only.

sodium adsorption ratio (SAR) as low as 3 in pulverized clay or clay loam, and can cause practical problems at a range of 6 to 8 in some soils under low salinity (Miyamoto, 1989b). Sodicinity problems are usually amendable. Boron concentrations in irrigation water should be below 1 mg L^{-1} in most tree crops, except for pistachio which tolerate B in irrigation water up to 10 mg L^{-1} (Picchioni *et al.*, 1991).

Bicarbonate ions in irrigation water once received a great deal of attention, mainly because of its effect on precipitating Ca, which results in increased sodicity (Bower *et al.*, 1968; Eaton, 1950). Bicarbonate ions can also induce chlorosis by reducing micronutrient availability (Matkin and Peterson, 1971). Irrigation water in some parts of the Southwest and Mexico occasionally contains bicarbonates greater than the

molar concentrations of Ca. Such situations can induce soil structural degradation, elevated pH levels, and an associated reduction in micronutrient availability.

If drip irrigation is to be used for irrigation, water should be checked for suspended solids and precipitation potentials for Ca and HCO_3 which can cause emitter clogging. Occasionally, alkali water from sandstone formations contains a high enough concentration of Si to cause incrustation of irrigation systems.

SOIL IMPROVEMENTS

If the soil profile is not suitable for tree crop production, a soil improvement program should be initiated as soon as possible. Otherwise, the negative cashflow is likely to continue in the poor soil area. The measures which may be adopted depend on the type or nature of soil problems (Table 4). If the land consists of a layer of deep clay, the land should be used for other purposes, and if trees happen to be present, transplanting to better ground is certainly a consideration. However, if the clay layer extends no more than 1 m in depth and is underlain by sand or sandy materials, the soil profile mixing with a backhoe, a trencher or a deep plow can make the ground suitable for tree planting. In order to change clay to an acceptable texture of loam, the volume of sand which has to be added approximately equals that of the clay (Table 5). Clay loam soils can be converted to loam by adding sand at a rate of about 25%. These measures are costly and are usually used for pecans in special circumstances. Citrus crops are more adaptable to clay soils than pecans, but their adaptability varies with the rootstock used. So far, sour orange rootstock has shown the best adaptability to adverse soil physical and chemical conditions.

The position of trench or pits should be at the zone of maximum root density, which is usually below the tree dripline or somewhat shorter when trees are small (Figure 1). The width of the trench will depend on the severity of the problem, but is usually 40 to 60 cm. The area beyond the trench can be deep-chiseled. The trench is usually made on one side of the tree rows for the first year, then on the opposite side several years later in order to reduce the shock to the trees. Removal of pecan root systems by as much as one-third through trenching or pitting may not affect yields beyond the first year (White *et al.*, 1982). The effectiveness of the treatment usually decreases with decreasing root densities or rising of the water table.

Table 4. Appropriate soil improvement measures.

Types of soils	Soil improvement measures
Deep clay	Usually not economical
Clay or clay loam over sand	Pitting, trenching or deep plowing
Shallow soil over caliche	Heavy duty subsoiling, plus acid injection
Salt or Sodium-affected soils	Leaching/Chem. Amendments
Excessively sandy clay	Clay mixing Usually not economical
High water table	others Interception or source control Open or subsurface drains

Table 5. Change in soil texture caused by sand addition to silty clay or silty clay loam.

Initial soil texture thickness	Sand addition thickness		Texture after mixing
Silty clay	Sand	%	
90 cm	30 cm	25	Clay loam
90 cm	60 cm	40	Sandy clay loam, loam
120 cm	30 cm	20	Clay loam
120 cm	60 cm	33	Sandy clay loam, loam
120 cm	90 cm	43	Sandy loam
Clay loam	Sand	%	
90 cm	30 cm	25	Loam
120 cm	30 cm	20	Clay loam, loam
120 cm	60 cm	33	Loam

Silty clay contains about 10% sand and silty clay loam up to 20% sand. The ideal texture for most tree crops is sandy loam and loam.

When the soil contains a hard pan or an indurated calcic layer (caliche), deep chiseling or subsoiling is effective in breaking the layer, thus promoting root developments. In addition, acid injection or acid banding in caliche helps solubilize some of the micronutrients which are often deficient in calcareous soils. When the soil is salt-affected, leaching irrigation during the dormant period is needed usually after chiseling and if a clay layer is involved, after trenching. Even a moderate level of salinity (2.5 dS m^{-1} in the saturation extract) can significantly increase mortality of transplanted trees, especially those of the bare root pecan transplants. Thus, it is suggested to leach the salts well in advance of tree planting. When the soil is affected by sodium, besides salts, application of chemical amendments following chiseling or subsoiling is usually required prior to leaching irrigation (Miyamoto, 1989a).

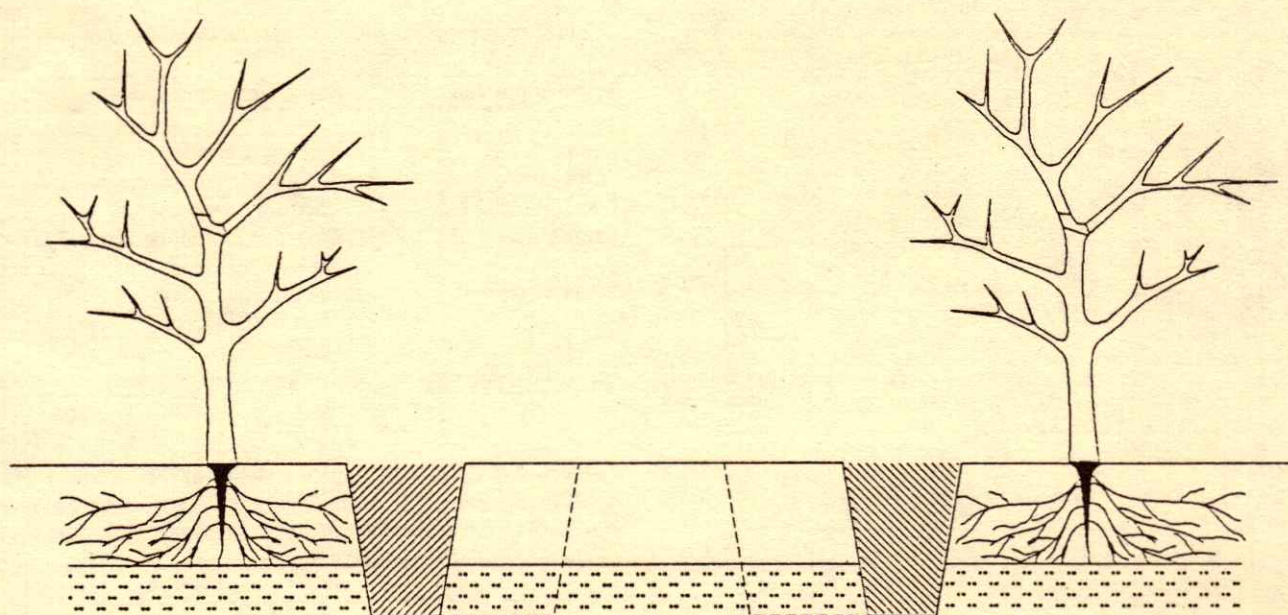


Figure 1. A sketch of a trench treatment used to improve stratified clay soils.

The control of high water tables requires water table monitoring and detailed soil survey and irrigation practices to understand the nature of the problem. Growers should not jump into any particular drainage measure until the cause is clearly understood. Common causes include canal seepage, over-irrigation, and leaky reservoirs. The solution to the problem usually consists of the control of the sources such as canal lining or interception drains, or if the source is diffused, open or subsurface drains. An open drain cannot be used in sandy soils, because of cave-in problems. The rise of water tables is usually accompanied by upward movement of salts. It is essential to test the soil for salinity when the water table rises, and if needed, to carry out salt leaching, usually using an alternate border strip leaching technique (Miyamoto, 1989a).

SOIL AND FLOOR MAINTENANCE

Orchard floors are subject to repeated compaction due to traffic of heavy equipment, disking and in the case of pecans, artificial compaction of the soil for mechanical harvesting. Soil compaction leads to reduced water infiltration (Figure 2), reduced pore space and water penetration, increased water stress and, poor salt leaching. This situation can lead to feeder root dieback, losses of tree vigor, and eventually tree dieback. This is a common problem which is often overlooked especially in deep, well-drained sandy soils. Compacted soils

should be regularly loosened by spiking or chiseling (Table 6). Spiking is better suited in mature orchards with shallow root systems, while chiseling can be used advantageously in young orchards or mature orchards with deep roots. Soil chiseling should be implemented where the density of tree roots is high in a manner to enhance root branching.

There has been apprehension that chiseling of an orchard floor will result in a disaster, as the chisel pulls out tree roots. As indicated earlier, the experience with pecans has shown that the removal of almost 1/3 of the tree roots by cutting within a meter from the tree trunk did not affect tree performance beyond one season in 50 year old trees. One method derived from such observations is to chisel in one direction in alternate rows (Figure 3). If this system is used, it will take four years to complete one round of chiseling. The next round will commence in the fifth year with a reduced width so as to allow root branching. In the orchard established in a rectangular or offsetting formation, chiseling is usually implemented in one direction only with the width of chiseling strips adjusted to the lateral extension of the roots. Chiseling in the orchard middles is a fairly common practice with the Lower Rio Grande Valley citrus growers who employ this practice to break compacted soil layers to improve water infiltration and to facilitate salt leaching. Despite some root pruning, such a practice, when conducted during cool winter months, does not seem to have deleterious effect on fruit

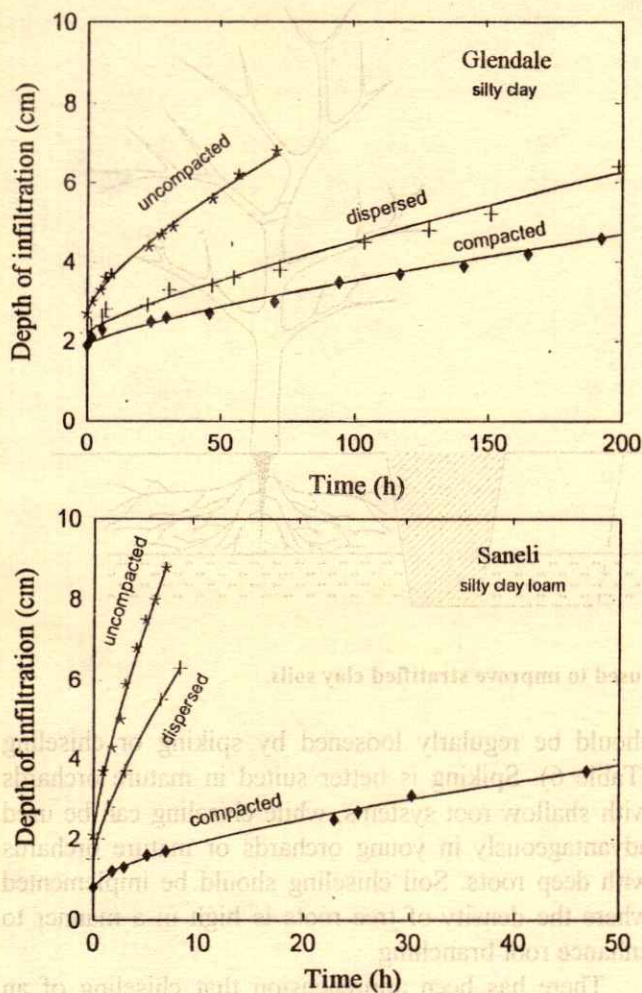


Figure 2. The depth of water penetration into two alluvial soils after artificial compaction to cause 5 mm of settling or the use of irrigation water containing suspended solids to make a 2 mm layer (Miyamoto, 1989).

yield and quality in the following year. If an irrigation block consists of multiple soil types, spiking or chiseling should be implemented in the poor intake region but not in the entire block so as to equalize soil permeability.

Soil particle dispersion induced by Na under the condition of low salinity reduces water infiltration (Figure 2). Traditionally, this problem has been amended by application of chemical amendments to the water or directly to the soils (e.g., Miyamoto and Stroehlein, 1986). These chemicals include Ca compounds, acidulants, and polymer or flocculants. Their performance is, however, highly dependent upon soil types, and examples are shown in Table 7. The reduction in salinity indicates improved water infiltration. Some reports (e.g., Acharya and Abrol, 1976)

Table 6. Appropriate soil and floor maintenance measures.

Types of problems	Soil maintenance measures
Compaction	Spiking, Chiseling
Dispersion	Sodding, Sandtopdressing
Salinization	Chemical amendments
Water standing	Chiseling or spiking and Periodic leaching
	Leveling & grading, Chiseling, Pitting
Loose sand & gravel	Sand wedging & Sodding
	Sodding, Mud irrigation

Table 7. Effects of chiseling to a depth of 60 cm and surface-applied gypsum at 13 ton ha⁻¹ on soil salinity of Glendale silty clay having the initial ESP of 11%. Measured after one season (Helmert and Miyamoto, 1990).

Depth cm	Site 1		Site 2	
	Control	Chiseled	Control	Gypsum
0 - 30	3.5 a*	2.0 b	2.6 a	3.5 b
30 - 60	5.7 a	4.9 b	3.6 a	4.2 a
60 - 90	5.0 a	4.5 a	4.2 a	4.0 a

* Numbers in row followed by the same letter are not significantly different at a 5% level.

indicate that topdressing of dispersive clay with sand (less than 3 cm in thickness) may help maintain water infiltration. This practice also reduces soil cracks which are an obstacle for mechanical nut harvesting with a sweeper. Likewise, sodding is known to provide improved water infiltration over clean cultivation (Glenn and Walker, 1989; Meek *et al.*, 1992). None of these methods will work if the soil is left compacted or consists of massive clay.

Weed control is an expensive floor maintenance task, especially in citrus, pistachio, and young pecan orchards. Maintaining clear floors is best from the view of minimizing competition with the trees. However, it is expensive, lowers trafficability, and exposes the soil surface to particle dispersion and compaction. Sodded floors are environmentally friendly, but can induce severe nutrient and water competition unless managed carefully. These nutritional competition problems are discussed in a later section.

IRRIGATION SYSTEM SELECTION AND MANAGEMENT

Irrigation systems should be selected or modified by considering the rate and cost of water supply, and soil

A System of Soil Chiseling
(4 year cycle)

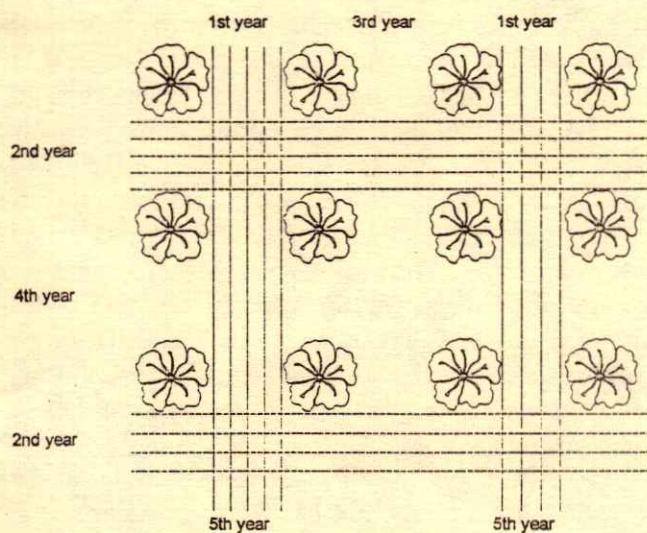


Figure 3. A system of soil chiseling implemented in a 4 year cycle. A new round of chiseling begins at the 5th year with a reduced width of chiseling strips.

properties which include the land slope, the water intake rate, and the water holding capacity. The availability of capital as well as the cost of irrigation labor enter into this picture. A general guideline for irrigation system selection is given in Table 8. A water supply rate of 250 L sec⁻¹ (4,000 gpm) can supply 10 cm of water over a 5 ha area in a matter of 5.5 hours. This makes large basin irrigation feasible. When the water supply rate is limited to 50 L sec⁻¹, the size of the basin or the border strips is typically reduced to 0.25 to 2.5 ha, depending on soil permeability. This increases the cost of setting and removing the borders as well as the time duration for irrigation.

An alternative is sprinkler irrigation which is ideally suited for sloped or highly permeable soils under a limited water supply. If the surface system is to be converted to sprinklers, soil improvement projects should be completed prior to pipe installation. Microject irrigation has been used effectively in citrus, pistachio, and young pecans (e.g., Marler and Davies, 1990). However, microject irrigation usually suffers from terrific weed growth, and is prone to physical damage (e.g., Stockton, 1987). In the case of citrus, microject irrigation can help reduce freeze damage.

Trickle (or drip) irrigation systems have been used effectively in supplemental irrigation areas as well as young trees in the Southwest (Helmert, 1984; Swietlik,

Table 8. Appropriate methods of irrigation.

Water supply (gpm)	Soils Labor	Typical methods	Initial	
			cost	cost
High (250 L sec ⁻¹)	clay sandy	Large Basin†	M‡	L
		Small Basin†	M	M
Medium (50-250 L sec ⁻¹)	clay sandy	Small Basin†	M	M
		Border	M	H
Low (50 L sec ⁻¹ or less)	deep deep or shallow deep	Border	L	H
		sprinkler	H	L
		Drip	M	L

† Large Basin > 5 ha, small Basin < 5 ha.

‡ H, M, L: High, Medium, Low.

1992; Worthington *et al.*, 1986). In mature pecan trees, drip irrigation has presented the problem of coverage and compatibility of the wetting pattern with the root development patterns which are typically horizontal. In addition, water saturation of the soil near emitters has caused root decay in some cases. Increasing the number of emitters using drip tapes has substantially reduced these problems, especially in deep soils (Henggeler and Word, 1995). Subsurface drip irrigation in low rainfall areas has the potential advantage of reduced weed control requirements as well as improved trafficability over sprinklers, and has performed best in deep sandy soils.

Irrigation management must deal with the question of how much, when and what portion of the orchard floor should be irrigated. The answer to the last question depends primarily on tree size, rainfall and the depth of the root zone which is controlled by soil properties. In supplemental irrigation areas, microjets or drip emitters have been placed to wet only about 25% of the orchard floor even in mature trees (e.g., Pivette, 1984). There is some evidence to indicate that citrus roots located in moist soil areas can compensate water uptake when a portion of the root system is subject to modest water stress (e.g., Zekri and Parsons, 1990b). In dry areas, roots can not survive without irrigation. Therefore, irrigation must be made to wet the entire ground where tree roots are present for maximum growth. In the case of pecans, this usually means that an area twice the canopy must be irrigated (Woodruff and Woodruff, 1934), and in high density plantings the entire orchard floor must be irrigated in about 5 to 7 years. In tree crops having small canopy to ground area ratios, such as citrus and pistachio, satisfactory yields can be obtained

even in arid areas with wetting patterns not covering the entire orchard floor (e.g., Bravdo *et al.*, 1992), provided that irrigation can be made frequently or the soil is sufficiently deep. Growers who are considering a conversion from the surface to sprinklers or drip irrigation must pay a great deal of attention to secure adequate wetting of the root system.

The depth of water that must be applied at each irrigation is determined primarily by the water holding capacity of the soil and the depth of wetting desired, the latter is governed primarily by the depth of root distribution. In stratified soils, the depth of water application may have to be increased to cause water penetration to a sufficient depth to keep the deep roots active, and to leach salts. This point should not be forgotten, especially when surface methods are changed to sprinklers. In any case, water application less than a few centimeters per application must be avoided as it increases evaporative water losses, and salt accumulation, not to mention terrific weed growth. Many of the tree ailing problems are related to reduced water penetration due to shallow water application or gradual soil compaction. Some growers also fail to adjust irrigation to increasing water usage resulting from growing tree sizes.

The timing of irrigation is usually determined by the use of irrigation calendars, using a simple water balance formula. An example is shown in Table 9 for irrigated pecans in far west Texas (Miyamoto, 1985). This type of guideline is also available for irrigated citrus (e.g., Kanber *et al.*, 1992; Wiegand and Swanson, 1982). The contribution of rainfall must be subtracted from irrigation quantity. However, yearly fluctuation in weather as well as the uncertainty involved in determining irrigation quantity or water holding capacity often invalidates such prefixed calendars. For

Table 9. Consumptive water use and typical irrigation intervals for irrigated pecans in far west Texas (Miyamoto, 1984).

Trunk size cm	Consumptive use†				Summer time irrigation intervals for net irrigations		
	April	May	June/ Aug.	Sept.	days		
6	.14	.23	.33	.25	15	23	31
8	.17	.26	.46	.38	11	17	22
10	.21	.30	.63	.48	8	12	16
12	.22	.33	.71	.61	7	11	14
16	.23	.38	.86	.74	6	9	12
Pan evap.	.99	1.09	1.14	.74	-	-	-

† Spaced 10 x 10 m.

these reasons, monitoring of soil moisture is usually recommended, for example, using a soil probe or a tensiometer. The soil water suction appropriate for irrigation varies with crop species, crop developmental stages, and crop load. For irrigated pecans, the soil in the major rootzone has to be kept moist (below 30 to 40 cb) after mid July until shuck opening which usually takes place in October. For high frequency irrigation of citrus, a somewhat lower tension e.g., less than 30 cb is recommended, especially during the fruit setting period (Swietlik, 1992; Wittwer, 1989). Some suggest to monitor fruit diameters for gauging the timing for irrigation in citrus. These are general guidelines, and growers should attempt to refine irrigation timing using soil moisture monitoring and crop performance data of their orchards.

Once we apply the right amounts of water at the right time, trees should not be subject to water stress. However, many growers have experienced the problem of uneven tree growth within an irrigation block. This problem is often associated with spatial variability in soil properties, and uneven distribution of water. Laser leveling which was introduced about a decade or two ago has helped alleviate poor water distribution problems. Even after laser leveling, however, the problem can remain in orchards established on spatially variable soils. Figure 4 shows two examples of uneven tree growth in two laser-leveled basins (Miyamoto, 1990). The deterred tree growth appears to be associated with soil salinity or the saturation water content, indicating a potential problem with the uneven water intake within the basins. Reduction in basin size or permeability improvements in the clay areas may be required for improving the uniformity of water penetration and of tree growth.

Both internal and surface drainage have to be maintained. Tree crops readily suffer from waterlogging (e.g., Alben, 1958; Smith and Ager, 1988). In fact, more trees are usually lost by excess water than by not enough water. The problem is most acute in pecans during hot summer months, and is minimal during the dormant period. Citrus trees are also sensitive to waterlogging, which is in fact among the most prominent reasons for citrus tree losses in the Lower Rio Grande Valley.

SOIL FERTILITY MANAGEMENT

Nitrogen, zinc, iron, copper, and at times, phosphorus and potassium can be deficient in

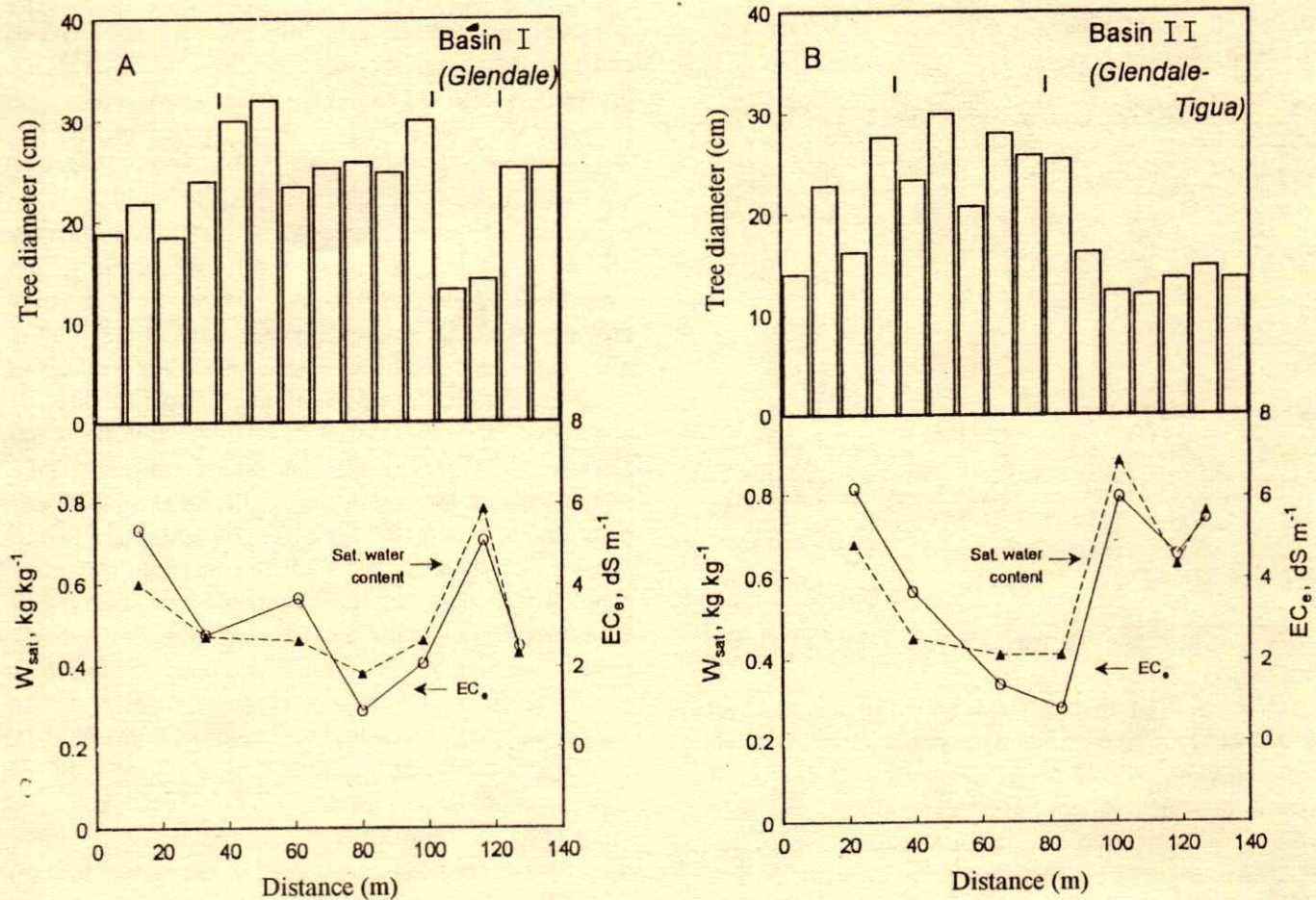


Figure 4. Tree size, soil salinity and soil saturation water content distribution over the distance from an irrigation ditch in two laser leveled basins (Miyamoto, 1990).

calcareous soils. Leaf tissue and soil fertility testing are a standard procedure used to identify nutritional deficiency (Table 10). However, it is important to observe shoot and leaf growth and fruit developments so that nutrient deficiency can be evaluated by considering tree conditions, besides the tissue analysis.

The quantity of deficient elements which should be added can not be determined precisely, partly because the efficiency of element recovery is quite variable. In the case of nitrogen (N) broadcast in two or three split applications, the N leaching losses can amount to about 1/3 of the applied, even when drainage is controlled to less than 10 % of the water applied (Unpublished data, Fenn and Miyamoto). In addition, surface-applied urea or ammonium-N are subject to volatile losses. If N fertilizers are applied to each irrigation in small quantity, the recovery rate may increase. However, such a N application strategy may not be compatible with the N demand. The N demand of deciduous trees is concentrated from budbreak to mid May, and evergreen

citrus trees also require large amounts of N during bloom and the period that follows it, i.e., during the initial fruit set. In this period tree nitrogen reserves play an important role in satisfying early N requirements of newly developing flowers, fruitless, and shoots. Swietlik (1992) found no evidence that frequent N fertigations were beneficial compared to two split-soil broadcast applications in terms of growth and yield of young citrus trees grown in deep clay loam soils of the Lower Rio Grande. Studies in Florida also indicated that increased fertigation frequency as many as 30 was not beneficial compared to two to five applications of dry fertilizers (Koo, 1980, 1984; Willis *et al.*, 1990, 1991). These findings, however, may not hold in sand or shallow soils with limited N retention capacity and for all citrus rootstocks currently used (Willis *et al.*, 1990). In surface-irrigated mature pecans, annual N application rates range from 100 to 200 kg ha⁻¹ depending on soil types and the nut bearing cycle. In citrus crops, application of N above 200 kg ha⁻¹ usually results in no

Table 10. Soil or leaf tissue analysis for assessing optional levels of nutrient elements.

Soil nutrient	Pecan leaf †	Citrus leaf ‡
	----- % dry weight -----	
N	2.5 ~ 4.0	2.3 - 2.6
P	0.12 ~ 0.3	0.11 - 0.16
K	0.75 ~ 1.3	0.70 - 2.0
Ca	0.7 ~ 3.0	3.0 - 5.5
Mg	0.3 ~ 0.6	0.26 - 0.6
	----- mg kg ⁻¹ -----	
		----- μ gg ⁻¹ -----
Zn	0.4 ~ 1.0	80 ~ 500
Fe	4.0 ~ 5.0	50 ~ 300
Mn	0.2 ~ 0.4	40 ~ 300
B	0.5 ~ 1.0	25 - 200
B	0.5 ~ 1.0	20 ~ 45
Cu	0.5 ~ 1.0	31 - 100
		5 - 16

† A Texas guideline by Storey for pecan leaves collected in July.

‡ Citrus standards by Embleton *et al.*, 1973 with modifications by D. Swietlik for Texas conditions, 5-7 months old spring cycled leaves from nonfruiting shoots.

additional increase in fruit yields (Dasberg, 1987; Swietlik, 1992).

Orchard floor management, especially sodding or the presence of weeds, has a pronounced effect on N availability. Figure 5 shows several examples of NO₃-N present in soil solutions with and without sod. The presence of warm season grass on half of the ground area has resulted in a 30% reduction in available N. The addition of cool season sod, clover, also lowered available N, mainly through uptake during the spring and early summer. During the period, growth rates of clover exceed that of deciduous trees, and present severe competition for N. The presence of killed sod also lowered N availability, presumably through microbial immobilization. The N competition during the year of sod establishment was even worse, although the N application rate was increased to 250 kg ha⁻¹ year⁻¹ (Unpublished data, Fenn and Miyamoto). Based on these observations, it seems that sods or weeds should be controlled during the time when the shoots and leaves are growing at the maximum rate, especially in young orchards. The weeds or sods can then be mowed in order to allow decomposition of clippings prior to the spring of the next growing season. Some reports from high rainfall areas (e.g., Goff, 1991) indicate that sodding can induce K deficiency during the shuck development stage in pecans.

Micronutrient deficiency, especially Zn and Fe, is of common occurrence in tree crops grown in calcareous soils. A standard method to deal with this problem is foliar application. In citrus, however, foliar applications

of Fe are only partially effective. The deficiency of Mn, and Cu can also occur (e.g., Leyden, 1983), and this problem is also corrected by foliar application. The frequency of application for pecans ranges from three to five times during the spring. In citrus, zinc deficient trees are recommended to be foliar sprayed once or twice with zinc materials in winter. If symptoms persist, applications should be repeated by the end of bloom and again in May/June and if the need exists later during the growing season. Studies indicate that trees mildly affected by zinc deficiency symptoms do not respond to foliar treatments in terms of yield, fruit quality, or vegetative growth (Swietlik, 1989; Swietlik and LaDuke, 1991). This is also true with pecans, especially in the year of low nut loads. If the severe deficiency persists, phosphorus levels in the soil (especially where manure was applied) and root environments should be examined. Shallow root developments over caliche or a hard pan, excess soil moisture, including high water tables, and root rot infection are among the common causes which induce severe micronutrient deficiency. In such cases, the soil conditions should be improved first, then the use of acidulants or soil application of Fe chelate should be considered.

The types of fertilizers available to tree growers are numerous (Table 11), and should be selected based on the deficient elements. Potassium and phosphorous deficiencies are usually not observed in citrus in the Lower Rio Grande Valley and available experimental

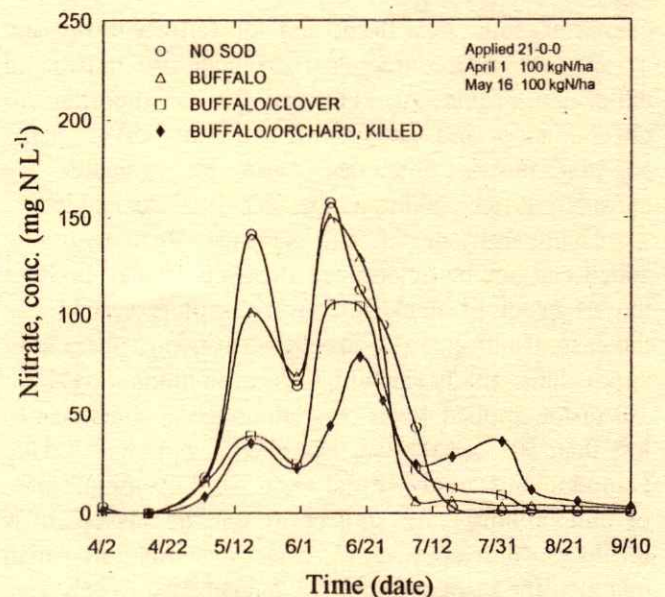


Figure 5. Free nitrate N concentration in soil solutions following two split applications of ammonium sulfate to sodded or nonsodded soils under surface irrigation.

Table 11. Types of fertilizers and their general characteristics.

	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	Mobility	Acidification
Granule					
Ammonium sulfate	21	0	0	Low	Medium
Urea	46	0	0	High	Slight
Ammonium nitrate	33.5	0	0	Medium	Medium
Diammonium phosphate	18	46	0	Low	Slight
Monoammonium phosphate	11	52	0	Low	Slight
Calcium nitrate	15.5	0	0	High	none
Super phosphate	0	45	0	Low	none
Liquid					
Urea	32	0	0	High	Slight
Urea-sulfuric	11	0	0	Low to High	Strong
Phosphoric acid	0	52	0	Low	High
Organic†					
Cow manure, dry	1.0	1.0	1.9	Low	Slight
Chicken	1.5	1.7	2.0	Low	Slight
Sewage sludge	1.5	1.3	0.4	Low	Slight
Activated sludge	6.0	3.0	0.2	Low	Slight

† Nutrient contents of these sources are highly variable.

data show no tree responses to the application of these elements (Hipp and Shull, 1976; Leyden, 1978, 1983). However, in the year of very heavy crops and under the condition of heavy N fertilization, deficient levels of K and P in the leaf tissue may be observed. Growers should be aware that urea or urea moves with water and becomes available to trees as soon as the water is applied, whereas ammonium N usually becomes available following the second irrigation, because NH₄ ions are adsorbed by clay particles at the soil surface and have to be converted to NO₃ prior to penetrating into the root zone. Growers may also consider using urea-acid injection (either sulfuric or phosphoric acid) or liquid acid fertilizers into calcareous soils along tree rows when the trees are small. Soil injected acid can improve availability of micronutrients (Fenn *et al.*, 1990; Miyamoto *et al.*, 1975), and help improve NH₄ uptake under elevated Ca concentration (Fenn and Hossner, 1985). Acid injection should be made preferably in advance of the spring root growth.

INTEGRATING AND BALANCING THE MANAGEMENT

Various orchard management activities should be integrated along the course of the crop development cycle. In irrigated pecans, for example, soil improve-

ment and maintenance activities should be completed during the dormant period. This will be followed by the first fertilization and irrigation one week to ten days in advance of the anticipated budbreak (Figure 6A). Foliar application of Zn and other micronutrients, and if applicable, of insecticides, usually begins upon the green-tip development. In order to facilitate these activities, the ground has to be sufficiently dry. The second soil fertilization begins prior to the second irrigation in late April, and be followed immediately by the second irrigation. Weed control becomes an important task, especially during the period of rapid shoot and leaf growth. Once the fertilization and the first two to three irrigations are completed, the management target usually shifts to careful water management to obtain desired nut size, filling and shuck opening which usually occurs in mid October. Late season irrigation management has a pronounced effect on nut filling, shuck opening and nut germination called *Vivipary* (Zertuche, 1982). The management schedules for pistachios are similar to those for pecans, except for earlier budbreak and harvesting than those for pecans.

In the case of citrus, growth of shoots and leaves occurs not only during spring months but also at later times, e.g., June and July, then October through November. Flowering extends for about three weeks, starting usually at the end of February (Figure 6B). Nitrogen fertilization is usually performed sometimes between November and January to build the tree N reserves which are utilized during bloom and early fruit development. Leaf micronutrient deficiency symptoms may be corrected with foliar sprays or soil applications (iron) at any time during the growing season. However, foliar sprays with Zn in winter may prove particularly effective in increasing yield on trees severely affected by this nutritional malady. During the fruit setting period that extends from bloom till June, it is of particular importance that water stress be minimized. (Irrigation is not indicated in Figure 6B as it varies with rainfall). From June until about the end of August, irrigations may be delayed, especially in oranges. For the rest of the season, irrigations should again be initiated when 40-50 % of available water is still present in the rootzone.

Various orchard management activities should be balanced. For example, for correcting water penetration problems, growers may wish to carry out soil improvement and/or maintain programs in addition to increasing irrigation depths per application. Likewise, growers may wish to improve root environments, besides foliar application, in order to reduce severe

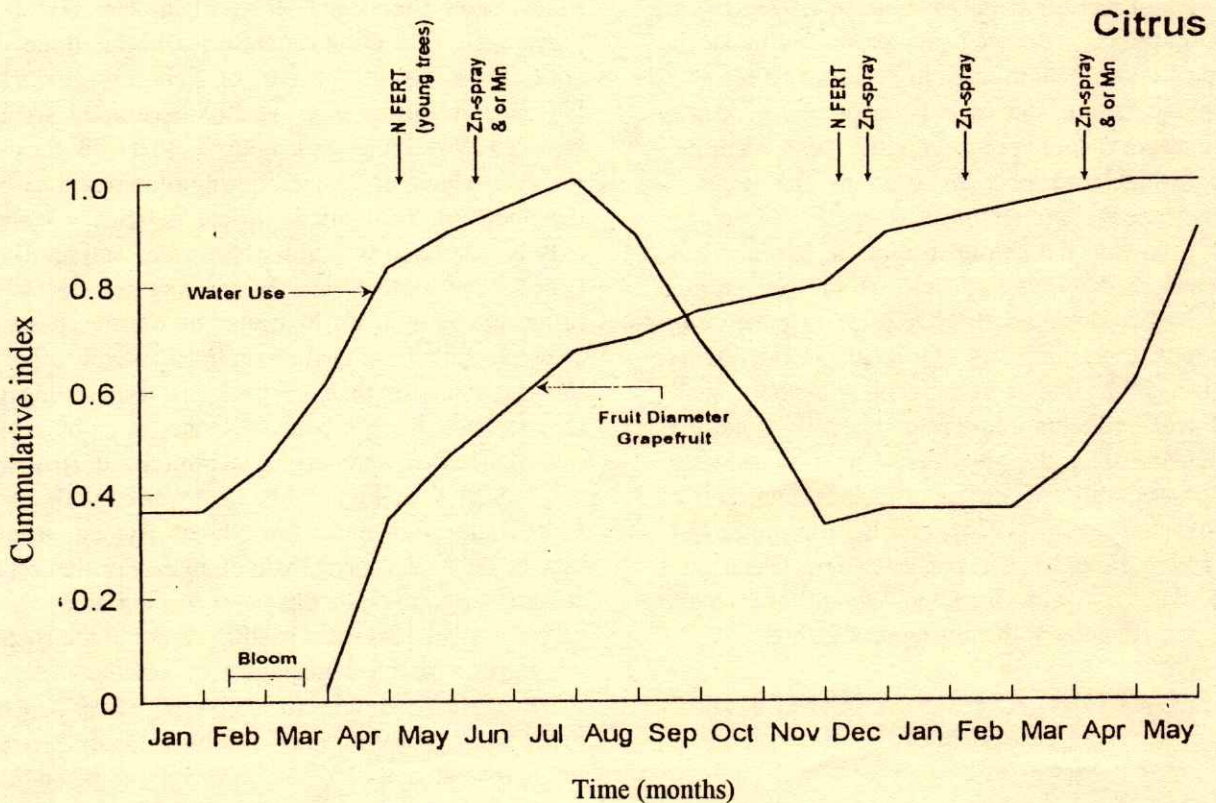
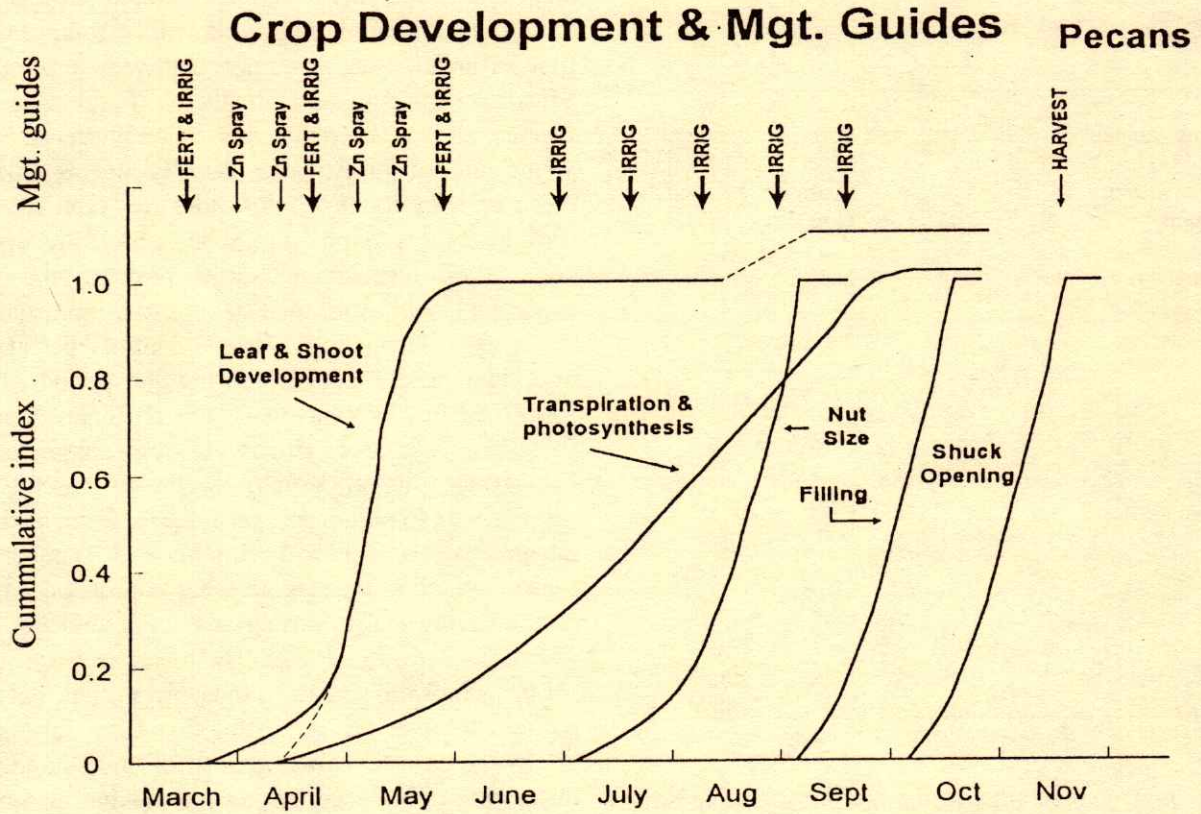


Figure 6. Relative advancements in crop development of pecans and associated management guidelines (Figure 6A), and of citrus (Figure 6B).

micronutrient deficiency. If orchard floor management is to be converted to sodded management, growers may wish to increase the rate of N application so as to accommodate uptake by the sod.

The concept of balanced management may also extend to an overall planning of orchard operation. For example, it may prove cost-effective if soil improvement programs are carried out vigorously in poor soil areas, before intensive management is imposed. We can not expect profits out of the area with poor soils, simply because tree performance drops below the economic threshold. A little saving in pumping cost or in monitoring soil moisture status can also result in reduced overall profits or delay in paying off of the large initial investment. These are some of the examples of balancing and optimizing management, and there are many others to be balanced.

The step toward establishing a comprehensive soil and water management program for tree crops begins with the soil survey and examination of the soil and water resources (Figure 7). If necessary, this has to be followed by soil and irrigation improvement activities,

then by the development of orchard maintenance programs covering soils, floor, water and nutrient management. Both improvement and maintenance activities should be balanced, and various maintenance activities should be integrated along the course of the crop development cycle.

LITERATURE

- Abu-Sharar, T.M., F.T. Bingham, and J.D. Rhoades. 1987. Stability of soil aggregates as affected by electrolyte concentration and composition. *Soil Sci. Soc. Amer. J.* 51: 309-314.
- Acharya, C.L. and I.P. Abrol. 1976. Effect of river sand on the permeability of sodic soil. *J. Indian Soc. Soil Sci.* 24: 245-252.
- Alben, A.O. 1958. Water logging of subsoil associated with scorching and defoliation of Stuart pecan trees. *Proc. Amer. Soc. Hort. Sci.* 72: 219-223.
- Ayers, R.S. and D.W. Westcot. 1985. Water quality for agriculture. FAO pub-29. Rome.
- Bower, C.A., G. Ogata, and J.M. Tucker. 1968. Sodium hazard of irrigation waters as influenced by leaching fraction and by precipitation or solution of calcium carbonate. *Soil Sci.* 106: 29-34.
- Bravdo, B., E. Salomon, Y. Emer, D. Saada, E. Shufman, and Y. Oren. 1992. Effect of drip and microsprinkler fertigation on citrus yield and quality. *Proc. Int. Soc. Citriculture*, 2: 646-648.
- Dasberg, S. 1987. Nitrogen fertilization in citrus orchards. *Plant and Soil* 100: 1-9.
- Eaton, F.M. 1950. Significance of carbonates in irrigation waters. *Soil Sci.* 69: 123-133.
- Embleton, T.W., W.W. Jones, C.K. Labanouskas, and W. Reuther. 1973. Leaf analysis as a diagnostic tool and guide to fertilization. P 183-210 *In: W. Reuther (ed.) The citrus Industry*. V. III. University of California
- Fenn, L.B. and L.R. Hossner. 1985. Ammonia volatilization from ammonium or ammonium-forming nitrogen fertilizers. *Advances in Soil Science* 1: 124-164.
- Fenn, L.B., H.L. Malstrom, T. Ripley, and G.L. Horst. 1990. Acidification of calcareous soils improves zinc absorption of pecan trees. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 115: 741-744.
- Glenn, D.M. and W.V. Walker. 1989. Orchard soil management systems influence rainfall infiltration. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 114: 10-14.
- Goff, W.D. 1991. Orchard floor management practices influence element concentrations in young pecan trees. *Hort. Sci.* 26: 1379-1381.
- Helmets, S. and S. Miyamoto. 1990. Mechanical and chemical practices for reducing salinity in pecan orchards. *Proc. Nat. Irrig. Conf. ASAE pub.* 04-90. P. 374-377.
- Helmets, S.G. 1984. Trickle irrigation management. *Pecan South* 11: (3)20-21.
- Henggeler, J. and J. Word. 1995. The use of closely-spaced, sub-surface drip irrigation tape on pecans. *Texas Agricultural Extension Service District-6 1994 Handbook*. Fort Stockton, TX.
- Hipp, B.W. and A.V. Shull. 1976. Influence of nitrogen, phosphorous and potassium on red grapefruit. *J. Rio Grande Valley Hort. Soc.* 30: 65-72.
- Kanber, R., A. Vazar, H. Koksai, and V. Oglizer. 1992.

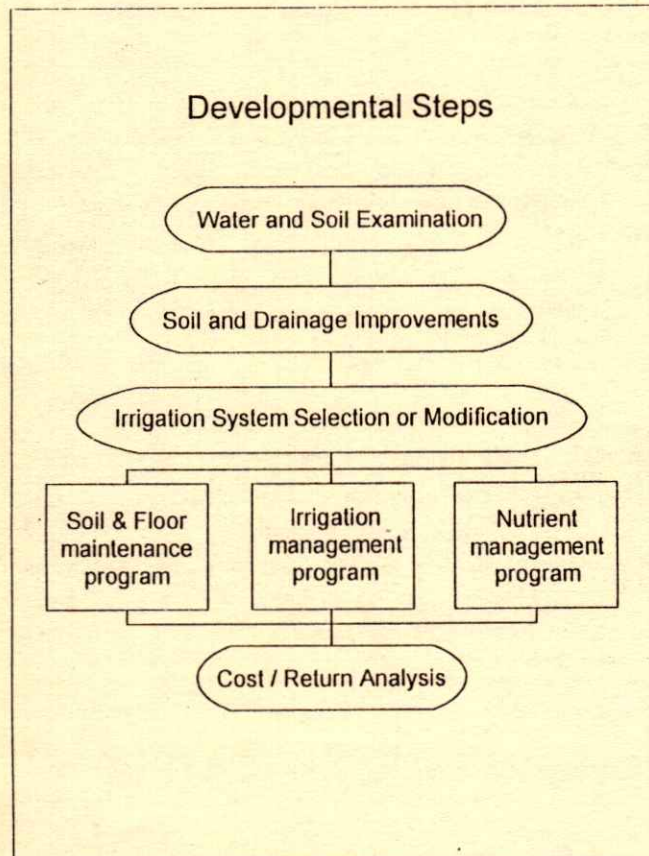


Figure 7. Suggested steps for developing a soil and water management program for tree crop production.

- Evapotranspiration of grapefruit in the Eastern Mediterranean region of Turkey. *Sci. Hort.* 52: 53-62.
- Koo, R.C.J. 1980. Results of citrus fertigation studies. *Proc. Fla. Hort. Soc.* 93: 33-36.
- Koo, R.C.J. 1984. The importance of ground coverage by fertigation for citrus on sandy soils. *Fertilizer Issues* 1(2): 75-78.
- Leyden, R.F. 1978. Nitrogen and phosphorous fertilization of red grapefruit. *J. Rio Grande Valley Hort. Soc.* 32: 55-60.
- Leyden, R.F. 1983. Nutrition of young 'Star Ruby' grapefruit. *J. Rio Grande Valley Hort. Soc.* 36: 67-71.
- Marler, T.E. and F.S. Davies. 1990. Microsprinkler irrigation and growth of young Hamlin orange trees. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 115: 45-51.
- Matkin, O.A. and F.H. Peterson. 1971. Why and how to acidify irrigation water. *Amer. Nurseryman.* 133: 14-17.
- Meek, B.D., E.R. Rechel, L.M. Carter, W.R. DeTar, and A.L. Urie. 1992. Infiltration rate of a sandy loam soil: Effects of traffic, tillage and plant roots. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 56: 908-913.
- Miyamoto, S. 1983. Consumptive water use of irrigated pecans. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 108: 676-681.
- Miyamoto, S. 1984. A model for scheduling pecan irrigation with microcomputers. *Trans Amer. Soc. of Agr. Eng.* 27: 456-463.
- Miyamoto, S. 1985. Water consumption. Growers need to know this to plan irrigation. *Pecan South*, 8-13.
- Miyamoto, S. 1989a. Reclamation of salt-affected pecan orchards. *Proc. Texas Pecan Growers Assn* p 1-14.
- Miyamoto, S. 1989b. Causes and remedies of poor water infiltration in orchard soils. *Proc. Western Pecan Conf.*
- Miyamoto, S. 1990. A model to estimate salt accumulation and crop yields in surface-irrigated orchard. *Proc. Nat. Irrig. Conf., Phoenix, AZ*, 384-389, ASAE Publication 04-90.
- Miyamoto, S., G. Gobran, and K. Piela. 1985. Salt effects on growth ion uptake of three pecan rootstock cultivars. *Agron. J.* 77: 383-388.
- Miyamoto, S. and S. Helmers. 1988. Selecting soils for irrigated pecan production. *Pecan South* 22: (2) 8-12.
- Miyamoto, S., T. Riley, G. Gobran, and J. Petticrew. 1986a. Effects of saline water irrigation on soil salinity, pecan tree growth and nut production. *Irrig. Sci.* 7: 83-95.
- Miyamoto, S. and J.L. Stroehlein. 1986. Sulfuric acid effects on water infiltration and chemical properties of alkali soils and water. *Trans ASAE* 29: 1288-1296.
- Picchioni, G.A., S. Miyamoto, and J.B. Storey. 1990. Salt effects on growth and ion uptake of pistachio rootstock seedlings. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 115: 647-653.
- Picchioni, G.S., Miyamoto, and B. Storey. 1991a. Growth, boron uptake of five pistachio cultivar seedlings. *Hort. Sci.* 26: 386-388.
- Pivette, C.V. 1984. Irrigation systems and soil-water management of pecans. *Pecan South*: 11(3): 6-9.
- Smith, M.W. and Ager, P.L. 1988. Effects of soil flooding on leaf gas exchange of seedling pecan trees. *Hort. Sci.* 23: 370-372.
- Stockton, A. 1987. Micro-sprinkler evaluation in west Texas pecan orchard. *Pecan South* 21(3): 21-23.
- Storey, R. 1995. Salt tolerance, ion relations and the effect of root medium on the response of citrus to salinity. *Aust. J. Plant. Physiol* 22: 101-114.
- Swietlik, D. 1989. Zinc stress on citrus. *J. Rio Grande Valley Hort. Soc.* 42: 87-95.
- Swietlik, D. 1990. Microirrigation in citrus orchards. *Bulletin* 90-3. Texas A&M University Kingsville Citrus Center, P.O. Box 1150, Weslaco, Texas 78599, USA.
- Swietlik, D. and J.V. LaDuke. 1991. Productivity, growth, and leaf mineral composition of orange and grapefruit trees foliar-sprayed with zinc and manganese. *J. Plant Nutr.* 14(2): 129-142.
- Swietlik, D. Interaction between zinc deficiency and boron toxicity on growth and mineral nutrition of sour orange seedlings. *J. Plant Nutr.* 18(6): 1191-1207.
- Swietlik, D. 1992. Yield growth and mineral nutrition of Young Ray Ruby grapefruit trees under trickle or flood irrigation and various nitrogen rates. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 117: 22-27.
- White, A.W., J.A. Payne, and G. Trowse. 1982. Effects of root pruning on Stewart pecan trees. *Pecan South* p17-19.
- Wiegand, C.L. and W.A. Swanson. 1982. Citrus response to irrigation: I. Irrigation requirements; daily, monthly, and annual evapotranspiration amounts; and water management recommendations. *J. Rio Grande Valley Hort. Soc.* 35: 73-85.
- Willis, L.E., F.S. Davies, and D.A. Graetz. 1990. Fertilization, nitrogen leaching and growth of young 'Hamlin' orange trees on two rootstock. *Proc. Fla. Stat. Hort. Soc.* 103: 30-37.
- Willis, L.E., F.S. Davies, and D.A. Graetz. 1991. Fertigation and growth of young 'Hamlin' orange trees in Florida. *Hort. Sci.* 26: 106-109.
- Wittwer, A.N. 1989. Water requirements of citrus at Nelspruit Valencia irrigation trial. A research report of Citrus and Subtropical Research Institute Nelspruit. South Africa.
- Woodruff, J.G. and N.C. Woodruff. 1934. Pecan root growth and development. *J. Agr. Res.* 49: 511-530.
- Worthington, J.W., J. Lasswell, and M.J. McFarland. 1986. Trickle irrigation in the 80's. *Pecan South* 20. (1) 4-8.
- Zekri, M. and I.R. Parsons. 1990a. Calcium influences growth and leaf mineral concentration of citrus under saline conditions. *Hort. Sci.* 25: 784-786.
- Zekri, M. and I.R. Parsons. 1990b. Response of split-root sour orange seedlings to sodium chloride and polyethylene glycol stresses. *J. Exp. Bot.* 41: 35-40.
- Zertuche, M.I. 1982. The effect of various irrigation treatments and levels of nitrogen and potassium upon vivipary of pecans (*Carya illinoensis* (Wang.) K. Koch). MS Thesis. Texas A&M University, College Station.

EFICIENCIA EN EL USO DEL AGUA EN ALGODONERO BAJO DIFERENTES CALENDARIOS DE RIEGO Y CON ACOLCHADO DE PLASTICO

Water Use Efficiency in Cotton with Different Irrigation Scheduling and Plastic Mulch

Claudio Godoy¹ A. y Ma. Eugenia Luna P.

RESUMEN

En la Comarca Lagunera la eficiencia en el uso del agua (EUA) por el algodón es de 0.20 kg de algodón en hueso por m³ de agua, la cual es muy baja, debido principalmente a que se aplicaron volúmenes de agua muy altos y una parte muy importante se pierde por evaporación directa; por lo que la EUA se incrementaría reduciendo estas pérdidas y aplicando otras tecnologías conjuntamente con el riego y otros criterios para la programación de los riegos de este cultivo. El objetivo del estudio fue el de mejorar la EUA reduciendo la evaporación del suelo con acolchados de plástico y determinar un calendario de riegos óptimo. Se estudiaron dos factores que fueron acolchados y tratamientos de riego programados en función de la evaporación acumulada, usándose para su estudio un diseño de bloques al azar con arreglo en parcelas divididas. Se usó el cultivar CIAN-Precoz. El acolchado de plástico, además de reducir la evaporación de 19 a 25 %, incrementa la EUA. El valor más alto de EUA, que fue de 1.39 kg de algodón en hueso m⁻³, se obtuvo con el tratamiento 590-135 mm de la evaporación y acolchado con plástico.

Palabras clave: Eficiencia en el uso de agua, calendario de riego, evaporación, acolchado.

SUMMARY

At Comarca Lagunera the water use efficiency (WUE) in cotton is 0.20 kg of cotton per cubic meter of water. This value is very low, because of the high water volumes applied and a very important part of this volume is lost by soil evaporation; the WUE will be improved reducing this lost and using better

irrigation scheduling criterion for this crop. The objective of this study was to improve the WUE, reducing the soil evaporation using plastic cover and to determine the best irrigation scheduling. Two factors were studied: plastic cover and different irrigations scheduling using the pan evaporation to define the application dates. A complete random block design in a split-plot arrangement was used. CIAN-Precoz was the cultivar used in this study. The plastic cover, besides reducing soil evaporation from 19 to 25 %, increased the WUE. The higher value of WUE of 1.39 kg m⁻³ and the higher cotton yield were obtained in the 590-135 mm of pan evaporation treatment and with plastic mulch.

Index words: Water use efficiency, irrigation scheduling, evaporation, plastic cover.

INTRODUCCION

En la Comarca Lagunera, Coahuila, México (24° 30' N, 103° 40' 0) por su condición de aridez, el agua es el factor más limitativo en la producción de algodón, ya que afecta el crecimiento del cultivo desde su germinación hasta la defoliación y apertura de bellotas (Godoy, 1993). El agua es importante en la producción de cultivos, debido a que tiene influencia en un amplio rango de procesos, incluyendo fotosíntesis, retención de bellotas y crecimiento de la fibra (Van Lersel y Oosterhuis, 1993).

El rendimiento promedio regional para 1991 fue de 3 055 kilogramos de algodón en hueso por hectárea, con una lámina de riego de 1.50 m ha⁻¹, lo cual dio un valor de eficiencia en el uso del agua de 0.20 kg m⁻³ (Godoy, 1994). Este valor, considerado muy bajo, se debe principalmente a los ineficientes criterios usados para la aplicación y programación de los riegos, lo que provoca la aplicación de volúmenes de agua muy altos, no aprovechados por el cultivo, de los cuales una buena parte se pierde por evaporación directa del suelo (Eo). Por esta razón, la EUA en este cultivo se

¹ CIFAP-Comarca Lagunera, Apartado Postal 247, 27000 Torreón, Coah.

Aceptado: Mayo de 1996.

mejoraría en forma significativa si se reducen las pérdidas debidas a la Eo.

Los resultados de encuestas realizadas por el personal del departamento de Economía Agrícola del CIFAP-Comarca Lagunera muestran que la mayoría de los productores reciben con 15 días de anticipación el primer riego de auxilio, mientras que el segundo lo retrasan en 15 días (Tovar, 1986). Lo anterior indica que tanto el primero como el segundo riego se están aplicando en forma inoportuna, lo cual repercute en cambios en el comportamiento fenológico de la planta, que afectan de manera adversa la producción de fibra (Godoy, 1994). En función de lo anterior, el trabajo se desarrolló con los objetivos siguientes:

- Mejorar la eficiencia en el uso del agua para este cultivo, reduciendo la evaporación directa mediante el uso de acolchados plásticos.
- Determinar el calendario de riegos óptimo para este cultivo.

MATERIALES Y METODOS

Este estudio se realizó en el Campo Experimental La Laguna, ubicado en Matamoros, Coahuila, México. Los factores estudiados fueron acolchado de plástico, con dos niveles: con y sin acolchado y calendarios de riego (seis), que resultaron de la combinación de aplicar el primer riego de auxilio cuando se acumularon 510 y 590 mm de la evaporación registrada en un tanque evaporímetro clase A, los siguientes riegos se aplicaron cada vez que se acumularon 135, 205 y 280 mm de la evaporación. En el Cuadro 1 se muestran la fecha de aplicación y el número de riegos aplicados. Los doce tratamientos se establecieron en un diseño de bloques al azar con arreglo de parcelas divididas con tres repeticiones; en la parcela mayor se colocaron los acolchados de plástico y en la parcela menor los tratamientos de riego.

Se utilizó el cultivar CIAN-Precoz; la siembra se hizo el 10 de abril, en melgas de 10 x 25 m, con una separación entre hileras de 80 cm, con una parcela útil de 90 m². La planta emergió a los trece días después de sembrada, y a los treinta días se efectuó el aclareo a una distancia de 14 cm entre plantas para obtener una población de 90 mil plantas por hectárea. Después se procedió a dar un paso con el rodadillo y, posterior-

Cuadro 1. Fecha de aplicación y número de riegos en seis tratamientos con y sin acolchado de plástico en algodnero.

Tratamientos (mm de Eo)	Riego de auxilio				Número de riegos
	1 ^{er}	2 ^o	3 ^{er}	4 ^o	
510-135	11 Junio	25 Junio	9 Julio	23 Julio	4
510-205	11 Junio	2 Julio	23 Julio		3
510-280	11 Junio	9 Julio			2
590-135	19 Junio	2 Julio	16 Julio		3
590-205	19 Junio	9 Julio			2
590-280	19 Junio	16 Julio			2

Eo = evaporación directa del suelo.

mente, se colocó el plástico, el cual cubrió totalmente el resto de la melga.

En el área central de las parcelas, y en una repetición de cada tratamiento, se colocaron tubos de aluminio para permitir el acceso de la sonda de neutrones y llevar a cabo los muestreos de humedad del suelo cada tercer día, a tres profundidades (30, 60 y 90 cm de la superficie).

Con el propósito de calibrar la sonda de neutrones, se tomaron muestras de suelo a las mismas profundidades y parcelas para determinar la humedad base peso seco y, al mismo tiempo, se tomaron las lecturas con la sonda de neutrones. Mediante un análisis de regresión se obtuvieron los parámetros del modelo de regresión, el cual resultó ser lineal, debido a que éste presentó los coeficientes de correlación más altos cuando fue comparado con otros modelos de ajuste. A continuación se muestra dicho modelo:

$$Y = 1.9574 + (6.4889) (X)$$

donde:

Y = Humedad base seco (%)

X = Relación de conteo

La evapotranspiración real (E_{tr}) se calculó usando la siguiente fórmula:

$$E_{tr} = (A_1 - A_2) (D_a) (Pr)$$

donde:

E_{tr} = Evapotranspiración real (cm)

A₁ = Humedad anterior (%)

A₂ = Humedad actual (%)

D_a = Densidad aparente del suelo (g cm⁻³)

Pr = Profundidad del estrato de suelo (cm)

Para obtener la dinámica de producción de materia seca total, así como los diferentes componentes de la planta, como son tallos, hojas, ramas, cuadros, flores, bellotas y capullos, cada semana se realizaron muestreos en un metro lineal en cada tratamiento y en una sola repetición, para después ser introducidos a una estufa de aire forzado a una temperatura de 65 a 70 °C, durante 72 horas, después se pesaron y se obtuvo el peso seco total.

Para determinar la producción de algodón en hueso, se cosecharon a mano 40 m de hileras (10 m de cada una de las cuatro hileras de parcela útil).

Las demás actividades del proceso productivo se realizaron de acuerdo con las recomendaciones que emite el Campo Agrícola Experimental La Laguna.

RESULTADOS Y DISCUSION

En el Cuadro 2 se muestra la evapotranspiración real para los doce tratamientos, así como la diferencia en ETr para con y sin acolchado de plástico. Se observa que los tratamientos 510-135 y 510-205 mm de la Eo con y sin acolchado, obtuvieron los valores más altos de ETr de los tratamientos, los cuales presentaron valores de consumo de agua muy similares. Los valores más bajos se tuvieron en los tratamientos que recibieron menos riegos de auxilio. Así mismo, se puede observar que los valores de ETr fueron diferentes en los tratamientos con y sin acolchado. Estos fueron más bajos en los tratamientos con acolchado, lo cual indica una distribución diferente de la ETr en evaporación directa del suelo (Eo) y transpiración (T) a través de la planta. En este estudio se encontró que el acolchado redujo la Eo de 19 a 25 % para los tratamientos con menos y más riegos, respectivamente. Se han reportado valores de reducción de la Eo de 40 y 70 % del total de agua usada en trigo (Siddique *et al.*, 1990) y vid (Lascano *et al.*, 1992), respectivamente.

Dentro de un mismo tratamiento de riego, la ETr fue más baja cuando se usó acolchado, lo cual significa que no toda el agua ahorrada se usó en la transpiración. El uso de acolchados se ha reportado como factor que disminuye la evaporación directa del suelo (Bond y Willis, 1971; Greb *et al.*, 1970; Lal, 1974; Rajat De *et al.*, 1983); la cantidad de agua ahorrada depende de factores como las propiedades

Cuadro 2. Evapotranspiración real (ETr) para los doce tratamientos estudiados.

Tratamientos (mm de Eo)	Evapotranspiración real		
	Sin plástico	Con plástico	Diferencia
	----- cm -----		
510-135	56.19	42.52	13.67
510-205	46.00	38.20	8.00
510-280	43.20	33.98	9.22
590-135	43.81	34.21	9.60
590-205	38.98	32.91	6.07
590-280	41.58	34.30	7.28
Promedio	44.96	36.02	8.94

Eo = evaporación directa del suelo.

hidráulicas del suelo, el agua superficial del suelo, el porcentaje del suelo cubierto por la planta, el acolchado y el tiempo de colocación de este (Adams *et al.*, 1976; Bond y Willis, 1971; Gardner y Gardner, 1969; Unger y Parker, 1976). En relación con este último factor, es necesario mencionar que el plástico se colocó 30 días después de la siembra, condición que influyó en que la cantidad de agua ahorrada no fuera mayor que la mencionada anteriormente (19 a 25 %). En relación con lo anterior, se ha encontrado (Godoy, 1993) que en el período comprendido del riego al primer auxilio y debido al bajo crecimiento inicial del algodón, lo cual afecta la captura de la radiación solar y sombreado de la superficie del suelo, la relación evaporación/evapotranspiración es 0.70; este valor, similar al encontrado para vides jóvenes (Lascano *et al.*, 1992), se considera muy alto, lo cual demuestra que la evaporación del suelo es el principal factor en la pérdida de agua durante este período. Lo anterior indica que si se coloca el plástico en el momento de la siembra, el porcentaje de agua ahorrada para el algodón podría ser similar al reportado para el trigo (40 %), lo cual significaría el ahorro de cuando menos un riego de auxilio.

Se ha reportado (Rajat De *et al.*, 1983; Unger, 1978) que los acolchados, además de disminuir la evaporación, incrementan el agua disponible para la transpiración. En el presente estudio se encontró que en casi todos los tratamientos y en la mayoría de los períodos entre riegos, a excepción del estrato 0 a 30 cm, el consumo de agua fue superior con acolchado. Además de que en estos tratamientos el abatimiento de la humedad del suelo fue más alto y muy similar en los tres estratos del suelo (Figuras 1 y 2).

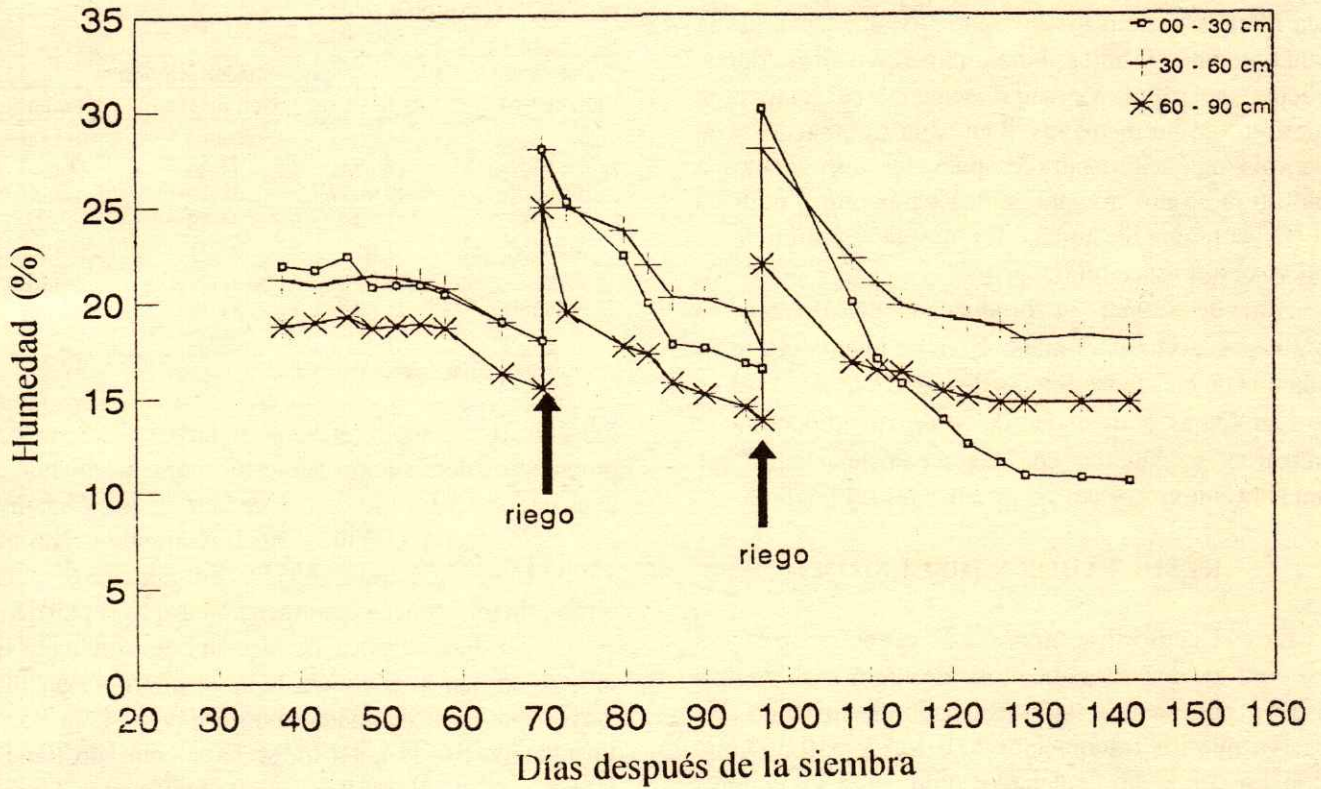


Figura 1. Abatimiento de la humedad del suelo en el estrato 0 a 90 cm para el tratamiento 590-280 mm de la Eo sin acolchado de plástico.

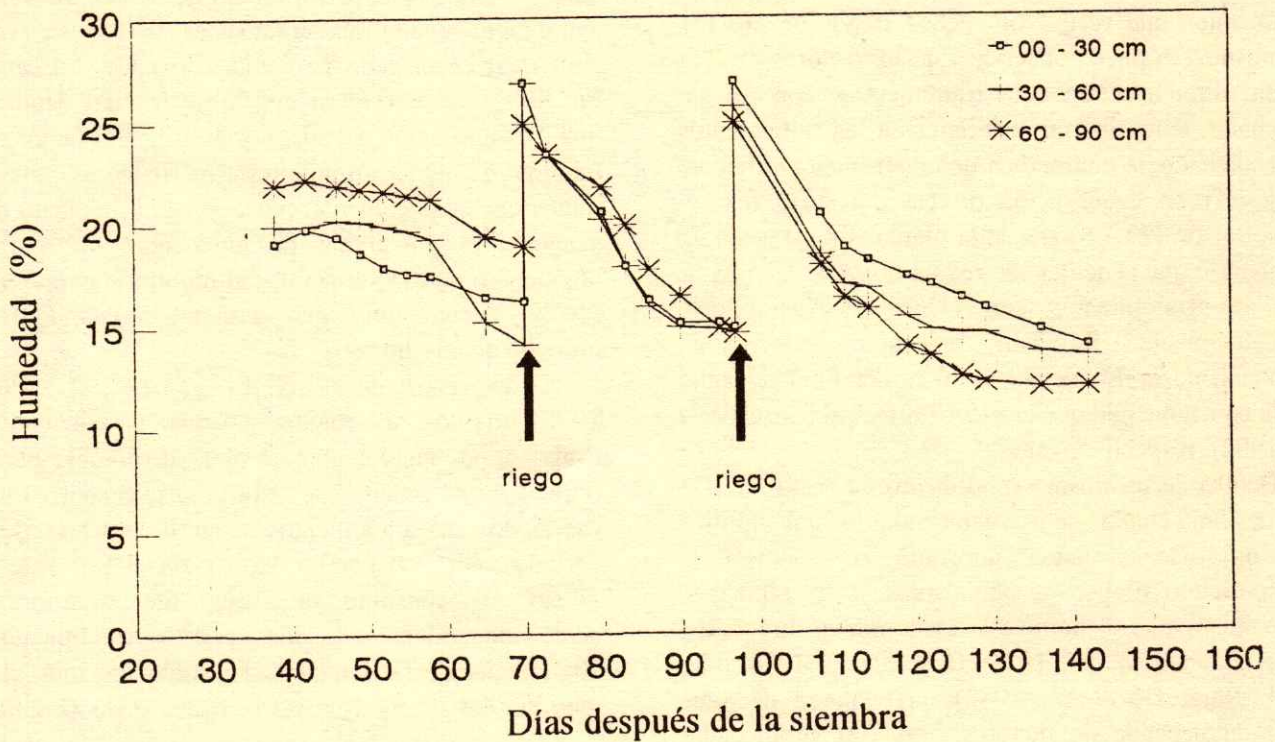


Figura 2. Abatimiento de la humedad en el estrato 0 a 90 cm para el tratamiento 590-280 mm de la Eo con acolchado de plástico.

En el Cuadro 3 se muestran los valores de eficiencia en el uso del agua (considerada en el presente estudio como la relación entre kg de algodón en hueso y la ETr) para los tratamientos estudiados con y sin acolchado de plástico. La EUA fue más alta cuando el inicio de riego fue a los 590 mm de la Eo, incrementándose a medida que los mm de la Eo de los siguientes riegos se incrementaron (280 y 205); esta tendencia fue similar con y sin acolchado. Se observa, en este Cuadro 3, que dentro de un mismo tratamiento de riego, el valor de EUA fue más alto con acolchado. Cuando el inicio del riego se aplicó a los 510 mm de la Eo y a medida que se incrementaron los mm de la Eo entre riegos, el valor de EUA se incrementó; mientras que cuando el inicio de riego se aplicó a los 590 mm de Eo y a medida que se incrementaron los mm de la Eo entre riegos, el valor de EUA disminuyó; los valores encontrados en estos últimos tres tratamientos fueron más altos que los encontrados en los tratamientos 510-135, 510-205 y 510-280 mm de la Eo. Estas dos tendencias contrarias se deben a que en el caso del tratamiento 510-135, existió un desbalance vegetativo fructífero, y que de 100 % de la materia seca total aérea producida, 46 % fue distribuida a las bellotas y capullos (Figura 3), mientras que en los tratamientos 510-205 y 510-280 esta distribución fue más favorable a los frutos ya que de 100 % de la materia seca total producida, 58 % se distribuyó a bellotas y capullos. Los resultados anteriores, aunados a un mejor uso y aprovechamiento del agua disponible en el suelo, hicieron que se incrementará el valor de EUA en estos tratamientos, en comparación con el encontrado para el tratamiento 510-135. Cabe hacer notar que en este último tratamiento se produjo 22 % más de materia seca total que en los otros dos tratamientos ya mencionados.

Cuadro 3. Eficiencia en el uso del agua (EUA) para seis tratamientos de riego con y sin acolchado.

Tratamiento	Eficiencia en el uso del agua	
	Sin plástico	Con plástico
mm de la Eo	----- kg m ⁻³ -----	
510-135	0.79	0.82
510-205	0.80	1.14
510-280	1.06	1.37
590-135	1.11	1.39
590-205	1.19	1.23
590-280	1.17	1.09

Eo = evaporación directa del suelo.

Por otro lado, cuando el primer riego de auxilio se aplicó a los 590 mm de la Eo (ocho días después de la floración) y luego se aplicaron los siguientes riegos a los 135 mm de la Eo, y con el acolchado de plástico la humedad disponible en el suelo fue alta y el balance vegetativo fructífero, se mejoró notablemente a tal grado que fue precisamente en este tratamiento en el que se alcanzó el máximo valor de EUA. Además, en los tratamientos 590-205 y 590-280 se disminuyó el valor de EUA, provocado por una disminución del agua disponible en el suelo, debido a un menor número de riegos aplicados. En el Cuadro 4 se muestra el rendimiento de algodón en hueso para los doce tratamientos estudiados; se encontraron diferencias significativas para tratamientos de riego y acolchados y no para la interacción. Los tratamientos 510-205 y 590-135 fueron estadísticamente iguales y superiores a los tratamientos 510-135 y 590-205, los cuales, a su vez, fueron estadísticamente iguales entre sí y superiores a los tratamientos 510-280 y 590-280, los cuales fueron estadísticamente iguales. Por otro lado, los tratamientos con acolchado de plástico fueron estadísticamente superiores a los que no se acolcharon. En relación con los tratamientos de riego, se encontró que al aplicar los riegos a los 510 ó 590 y luego a los demás riegos a los 135 ó 205 mm de la Eo, el rendimiento fue superior a cuando se aplican los riegos cada 280 mm de la Eo debido a que las plantas son sometidas a deficiencias de agua durante el crecimiento y desarrollo de las bellotas. Se ha demostrado (Combee, 1980; Van Lersel y Oosterhuis, 1993) que producciones altas de materia seca en la bellota se obtienen por producir grandes cantidades de agua en la bellota, lo cual se logra aplicando intervalos de riego cortos (cada 135 ó 205 mm de la Eo) durante el crecimiento y desarrollo de la misma.

Con relación a la respuesta que tuvieron los tratamientos cuando se aplicó el acolchado de plástico, se encontró que debido al incremento que se tiene en el agua disponible para la transpiración (Rajat De *et al.*, 1983; Unger, 1978) es posible retrasar la aplicación del primer riego de auxilio hasta los 590 mm de la Eo y luego aplicar intervalos de riego de cada 135 y 205 mm de la Eo. El tratamiento de 510-135 provocó un desbalance a la planta vegetativamente y la distribución de fotosintatos que se tiene hacia los frutos bajó considerablemente.

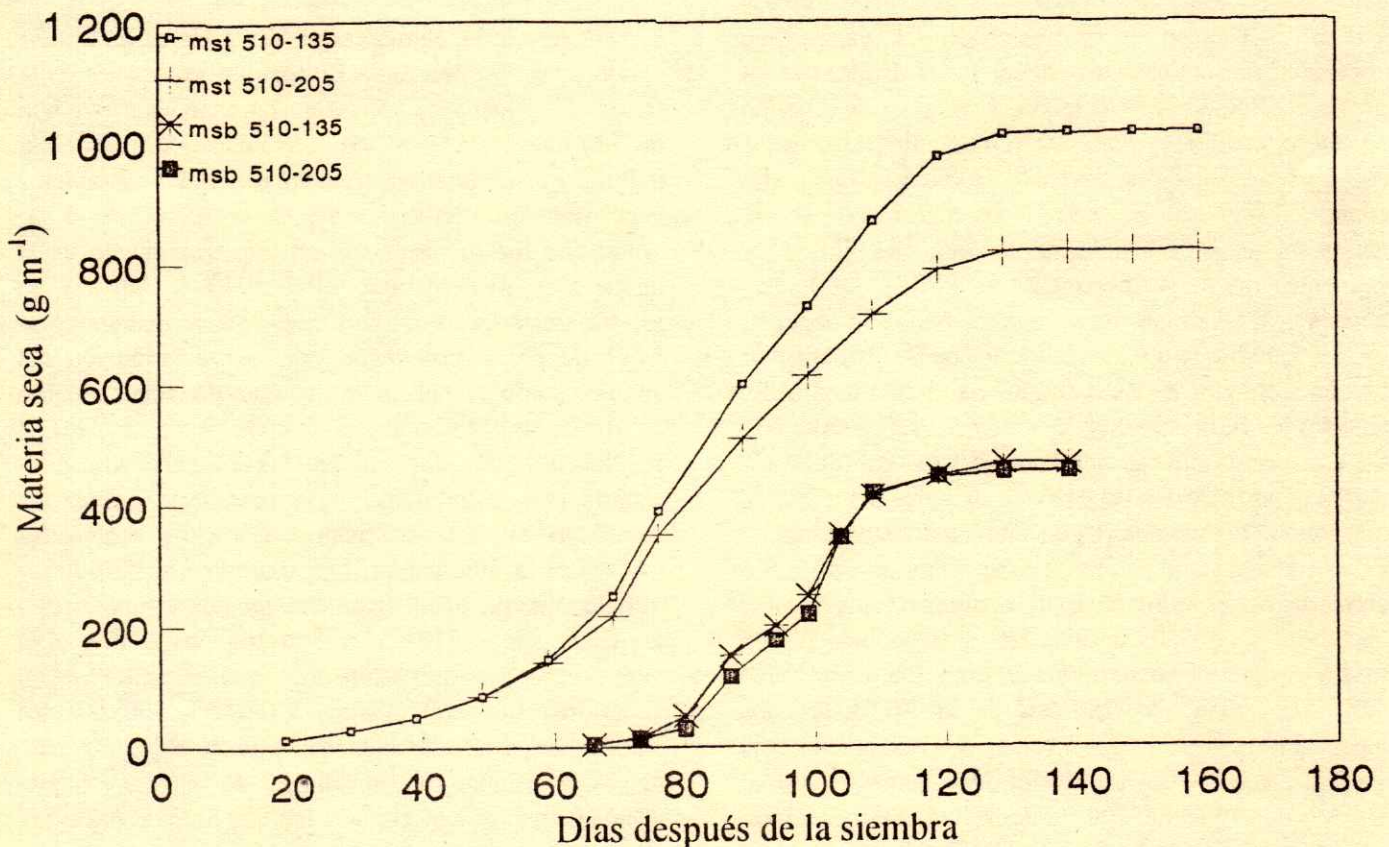


Figura 3. Dinámica de acumulación de materia seca total (mst) y de las bellotas (msb) para dos tratamientos de riego en algodónero.

Cuadro 4. Rendimiento de algodón para seis tratamientos de riego con y sin acolchado.

Acolchado	Tratamientos de riego (mm de la Eo)						\bar{X} kg ha ⁻¹
	510-135	510-205	510-280	590-135	590-205	590-280	
Sin plástico	4863	4804	3200	4557	4039	3389	4142 b*
Con plástico	3472	4675	4362	5237	4537	4237	4420 a
\bar{X}	4168 b*	4740 a	3781 c	4897 a	4288 b	3813 c	

* Valores seguidos con la misma letra son estadísticamente iguales entre sí (Duncan $\alpha = 0.01$).

Eo = evaporación directa del suelo.

CONCLUSIONES

El acolchado de plástico redujo la evaporación del suelo de 19 a 25 %, que equivalen a 6 y 13.7 cm de lámina de agua, respectivamente; estos valores pueden incrementarse hasta 40 % si el acolchado se coloca en el momento de la siembra.

Dentro de un mismo tratamiento de riego, la EUA siempre fue más alta con el acolchado de plástico. El valor más alto de rendimiento y de EUA fue 1.39 kg de algodón en hueso por m³ de agua y se alcanzó en el tratamiento de 590-135, al cual se le aplicaron tres

riegos de auxilio en lugar de los cuatro que actualmente se aplican en la Comarca Lagunera.

El valor de EUA de cualquiera de los calendarios de riego estudiados, ya sea con y sin acolchado de plástico, supera enormemente el valor de EUA encontrado a nivel comercial.

LITERATURA CITADA

- Adams, J.E., G.F. Arkin y J.T. Ritchie. 1976. Influence of row spacing and straw mulching on first stage drying. Soil Sci. Soc. Am. Proc. 33: 192-196.

- Bond, J.J. y W.O. Willis. 1971. Soil water evaporation: long term drying as influenced by surface residue and evaporation potential. *Soil Sci. Am. Proc.* 35: 984-987.
- Combee, B.G. 1980. Development of the grape berry. I. Effects of time of flowering and competition. *Aust. J. Agric. Res.* 31: 125-131.
- Gardner, H.R. y W.R. Gardner. 1969. Relation of water application to evaporation and storage of soil water. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 33: 192-196.
- Godoy A., C. 1993. Relación del coeficiente de cultivo (K_c) y parámetros de fructificación en algodónero bajo diferentes niveles de humedad del suelo. *Terra* 11: 151-157.
- Godoy A., C. 1994. Eficiencia de la evapotranspiración en algodónero cv Laguna 89 bajo diferentes niveles de humedad en el suelo. *Terra* 12: 423-430.
- Greb, B.W., D.E. Smika y A.L. Black. 1970. Water conservation with stubble mulch fallow. *J. Soil Water Conserv.* 25: 58-62.
- Lal, R. 1974. Soil temperature, soil moisture and maize yield from mulched and unmulched tropical soils. *Plant Soil* 40: 129-143.
- Lascano, R.J., R.L. Baverhardt y W.N. Lipe. 1992. Measurement of water flow in young grape vines using the steam heat balance method. *Am. J. Enol. Vitic.* 43 (2): 159-165.
- Rajat De, D.V., S. Bhujanga, Y. Yogesguara, L.G. Giriraro, y M. Ikramvllah. 1993. Modification of irrigation requirement of wheat through mulching and foliar application of transpiration suppressants. *Irrig. Sci.* 4: 215-223.
- Siddique, K.H.M., D. Tennant, D., M.W. Perry y R.K. Belford. 1990. Water use and water use efficiency of old and modern wheat cultivars in a mediterranean type environment. *Aust. J. Agric. Res.* 41: 431-447.
- Tovar H., S. 1986. Marco de referencia para el algodónero en la Comarca Lagunera. Informe de Investigación. INIA. CIAN. SARH. Vol. 3 (3): 35-47.
- Unger, P.W. y J.J.Parker. 1976. Evaporation reduction from soil with wheat, sorghum and cotton residues. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 40: 938-942.
- Unger, P.W. 1978. Straw - mulch rate effect on soil water storage and sorghum yield. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 42: 486-491.
- Van Lersel, M.W. y D.M. Oosterhuis. 1993. Water relations of a developing cotton boll. *Arkansas Farm Research.* Vol. 42 (2): 14-15.

APLICACIONES PRACTICAS DE LA TEORIA DEL MOVIMIENTO DEL AGUA EN SUELOS BAJO RIEGO Y DRENAJE

Practical Applications of Theory of Water Movement in Irrigated and Drained Soils

Yuri Nikolski¹

RESUMEN

En el presente trabajo se discuten los métodos del pronóstico del régimen de humedad del suelo y el nivel de las aguas freáticas, los cuales se basan principalmente en la resolución de las ecuaciones diferenciales lineales del movimiento del agua en el suelo y del sistema de ecuaciones algebraicas de balance del agua de la superficie del suelo, de la zona de aireación del suelo y de las aguas freáticas. Se describe el análisis de las particularidades de la infiltración del agua en el suelo bajo riego por gravedad y por aspersión, incluyendo las situaciones cuando el nivel freático se localiza cerca de la superficie del suelo. Se analizan también las particularidades del intercambio del agua entre la zona de aireación y las aguas freáticas. Se dan conclusiones prácticas para el manejo del régimen hídrico de los suelos.

Palabras clave: Humedad, balance hídrico, pronóstico, infiltración, nivel freático, zona de aireación.

SUMMARY

The methods for predicting changes in soil moisture and water table depth under irrigation and drainage are discussed in this paper. These methods are based mainly on linearized differential equations of soil water movement and on a system of algebraic equations that take into account soil surface, soil profile and aquifer water balances. Some differences in infiltration under flood irrigation and sprinkling, including conditions with a high water table, are analyzed, as well as water exchange between the unsaturated zone and aquifer water. The practical aspects of such analysis are applied to soil water management.

¹Colegio de Postgraduados. Instituto de Recursos Naturales. Programa de Hidrociencias. 56230 Montecillo, México.

Aceptado: Septiembre de 1996.

Index words: Moisture, water balance, prediction, infiltration, water table, aeration zone.

INTRODUCCION

Debido a la creciente necesidad de incrementar la efectividad del uso de las tierras bajo riego y drenaje, y a la exigencia de aumentar la exactitud del manejo del régimen hídrico de los suelos, cada vez más cobran mayor importancia los métodos para pronosticar la humedad del suelo, el nivel freático, el intercambio del agua entre las zonas de aireación y las aguas freáticas.

El régimen hídrico en la zona de aireación tiene particular importancia para el desarrollo de los cultivos agrícolas y de los procesos de formación de suelos. Para mantener este régimen en condiciones óptimas y lograr una alta productividad, además de conservar y mejorar el suelo y proteger la naturaleza, es necesario conocer los procesos que originan el movimiento del agua en los suelos de las tierras agrícolas. Es conveniente investigar tales procesos a través del análisis teórico con simulación de las condiciones prácticas de este movimiento.

Las investigaciones teóricas del movimiento del agua a través de perfil de suelo bajo riego y drenaje son múltiples y tienen muchos años (más de 40) de experiencia. Sin embargo, los resultados de estas investigaciones, que pudieran aplicarse a la práctica de riego y drenaje, se encuentran dispersos en diferentes publicaciones. Unos procesos del movimiento de agua, aquéllos que ocurren principalmente cuando el nivel freático está relativamente cerca de la superficie (aproximadamente menos de 2 m), todavía no están bien estudiados. Ante tal situación, surgió la inquietud de elaborar un artículo que conjunte los resultados existentes y más importantes sobre este tema y también los resultados de investigaciones propias sobre los aspectos prácticos y menos conocidos de la formación del régimen hídrico de los suelos bajo riego y drenaje.

METODOS

Se utilizan cálculos conjuntos de los regímenes de humedad y el nivel freático a través de: a) ecuaciones diferenciales no lineales del movimiento del agua en el suelo, adecuadas para describir el movimiento del agua en la zona de aireación y en las aguas freáticas; b) ecuaciones diferenciales lineales del movimiento del agua en el suelo, que describen de manera conjunta el movimiento del agua en condiciones saturadas y no saturadas del perfil del suelo; c) sistema de ecuaciones algebraicas del balance hídrico, descritas para el perfil del suelo y las aguas freáticas.

Como se sabe, la ecuación diferencial no lineal que describe el movimiento vertical y unidimensional del agua a través del perfil del suelo tiene la siguiente forma:

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial Z} \left(K \frac{\partial \psi_m}{\partial Z} \right) - \frac{\partial K}{\partial Z} - \omega \quad (1)$$

donde $\theta = \theta(Z, t)$, es la humedad volumétrica del suelo que cambia con la profundidad a través del perfil del suelo Z , en un tiempo determinado t ; $K = K(\theta)$, es la función de la dependencia entre la conductividad hidráulica del suelo K y la humedad θ ; $\Psi_m = \Psi_m(\theta)$, es la función de la dependencia del potencial matricial Ψ_m y la humedad θ ; $\omega = \omega(\theta, Z, t)$, es la intensidad de absorción del agua del suelo ω por las raíces de plantas en función de la humedad θ , la profundidad Z , y el tiempo t . Sobre la superficie del nivel freático se crean condiciones donde $\Psi_m < 0$, y debajo de esa superficie se observa que $\Psi_m > 0$.

En el presente trabajo, la dependencia $K(\theta)$ se tomó de acuerdo con Averianov (1956) y Brooks y Corey (1964):

$$K = K_0 \left(\frac{\theta - \theta_*}{m - \theta_*} \right)^n \quad (2)$$

ó

$$K = K_1 \left(\frac{\theta - \theta_*}{\theta_1 - \theta_*} \right)^n = K_1 \Theta^n \quad (3)$$

donde K_0 es la conductividad hidráulica a saturación, es decir, cuando la humedad es igual a la porosidad m ; K_1 es la conductividad hidráulica cuando la humedad θ es igual a θ_1 , correspondiente a la situación más común de saturación, cuando en los poros del suelo queda una cantidad de aire del orden de 5 a 15%, respecto del volumen del mismo: $\theta_1 = m - (0.05 \text{ a } 0.15)$. θ_* es el

punto de humedad de marchitamiento; $\Theta = (\theta - \theta_*) / (\theta_1 - \theta_*)$; n es un exponente empírico, que generalmente cambia de 3.5 a 10 en función del tipo de suelo.

Para fines prácticos, la Ecuación 1 se escribe de la siguiente forma:

$$\mu_0 \frac{\partial H}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial Z} \left(K \frac{\partial H}{\partial Z} \right) - \omega \quad (4)$$

donde $\mu_0 = \partial \theta / \partial H = \mu(\theta)$, es la función de la porosidad diferencial drenable respecto del potencial total $H = \Psi_m - Z$; aquí, los valores de K y θ se toman como funciones de H .

La ecuación diferencial lineal del movimiento vertical del agua a través del perfil del suelo toma la siguiente forma:

$$\mu_1 \frac{\partial \Theta}{\partial t} = D \frac{\partial^2 \Theta}{\partial Z^2} - B \frac{\partial \Theta}{\partial Z} \quad (5)$$

donde $\Theta = \Theta(Z, t)$ son variables análogas a las que aparecen en la Ecuación 3, $\mu_1 = \Theta(\theta_1 - \theta_*)$ es la porosidad drenable total; D y B son valores constantes. La Ecuación 5 se deriva de la ecuación diferencial no lineal (Ecuación 1); si el proceso de evapotranspiración ocurre desde la superficie del suelo (es decir, cuando $Z = 0$, entonces $\omega = 0$), la dependencia del potencial matricial se expresa de acuerdo con Pashkovski y Chulaevski (1980):

$$\Psi_m = -h_c \ln \frac{1}{\theta} \quad (6)$$

donde $h_c = \int_0^1 \Psi_m(\Theta) d\Theta$ es la altura de la elevación del agua en la zona de aireación por fuerzas capilares. La variable Θ es la misma que en la Ecuación 3.

Para obtener la Ecuación 5, es necesario que la dependencia de la conductividad hidráulica del suelo K de Θ en lugar de la Ecuación 3, se exprese en forma lineal:

$$K = K_1 \Theta \quad (7)$$

entonces:

$$D = K_1 h_c \text{ y } B = K_1 \quad (8)$$

donde K_1 se calcula con la Ecuación 2, utilizando $\theta = \theta_1 = m - (0.05 \text{ a } 0.15)$ y tomando en consideración que para suelos arenosos se utilice el contenido de aire de 0.05, y para suelos arcillosos hasta 0.15.

La Ecuación 5 es la indicada para la investigación y los cálculos de la infiltración del agua en el suelo, el

intercambio entre las zonas de aireación y las aguas freáticas, además de otros importantes procesos que ocurren en las tierras bajo riego y drenaje.

La solución de las Ecuaciones 1, 4 y 5, es particularmente difícil, sobre todo la 1 y 4, ya que exigen conocer las funciones $\Psi_m(\theta)$, $K(\theta)$ y $\omega(\theta, Z, t)$. Sin embargo, puede lograrse una forma de cálculo más sencilla para el régimen hídrico del suelo, si se utiliza el sistema de ecuaciones del balance del agua superficial, en la zona de aireación, en la zona de las aguas freáticas y la ecuación del intercambio entre zonas de aireación y aguas freáticas.

Como se sabe, el sistema de ecuaciones del balance del agua tiene la siguiente forma:

$$As_f = As_i + Pr + Ir - Ea - G - S \quad (9)$$

$$\theta_f = \theta_i + (G - ET - q_0 \delta t) / Z \quad (10)$$

$$\Delta_f = \Delta_i - (q_0 + Fc + Ac - Dr) \delta t / \mu_1 \quad (11)$$

donde As_f y As_i es la cantidad del agua superficial (en m) al fin y al inicio de un determinado período con duración de δt días, respectivamente; θ_f y θ_i es la humedad volumétrica del suelo (en $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$) promedio en la zona con una profundidad Z_r (en m) ocupada por las raíces en el período; Δ_f y Δ_i son la profundidad final e inicial (en m) del nivel de las aguas freáticas en el mismo período; Pr , Ir , G , S , Ea y ET son precipitación, lámina de riego, infiltración del agua superficial al suelo, escurrimiento superficial, evaporación del agua superficial (en caso de existir) y evapotranspiración (en m) durante el período de δt , respectivamente. Los valores de G y ET dependen de la humedad del suelo promedio en el período de δt ; es decir, de $\theta = (\theta_i + \theta_f) / 2$. Fc , Ac y Dr son intensidades de las pérdidas por filtración en los canales de riego, de la alimentación de las aguas freáticas desde abajo por la presión de las capas semiconfinadas y del flujo del sistema de los drenes subterráneos (en m día^{-1}), respectivamente. Estas intensidades dependen de la profundidad media de las aguas freáticas durante el período de δt ; es decir, de $\Delta = (\Delta_i + \Delta_f) / 2$. μ_1 es la misma que en la Ecuación 5. q_0 es la intensidad del intercambio de agua entre la zona de aireación y las aguas freáticas (en m día^{-1}).

La Ecuación 9 refleja el balance del agua sobre la superficie del suelo. La Ecuación 10 corresponde al balance del agua en la zona de aireación total o en cualquiera de sus partes, donde se encuentra la mayor parte de masa radicular de las plantas. La Ecuación 11

describe el balance de las aguas freáticas. El valor del intercambio q_0 se calcula, como regla, a través de la Ecuación 1, donde $\delta\theta/\delta t$ y ω se consideran iguales a cero (Cary *et al.*, 1989; Faybishenko y Roth, 1995; Skaggs, 1980; Steward y Nielsen, 1990). El cálculo del régimen hídrico del suelo con el sistema de Ecuaciones 9, 10 y 11, conjuntamente con 1, es bastante complicado. Para simplificar el pronóstico del régimen hídrico se utilizó la fórmula del cálculo de q_0 (en m día^{-1}) dada por Nikolski (1977):

$$q_0 = K_1(\Theta^n - e^{-y}) / (1 - e^{-y}) \quad (12)$$

donde $\theta = (\theta_i + \theta_f) / 2$ es la humedad media del suelo (adimensional) en el período de δt ; θ_i y θ_f son los valores iguales a los que se utilizan en las Ecuaciones 2 y 3; n es valor empírico adimensional del exponente en las Ecuaciones 2 y 3, se cambia en un intervalo de 3.5 a 10, en función del tipo de suelo; $y = (\Delta - Z_r/2)n/h_c$ (adimensional); K_1 y h_c son los valores iguales a los mencionados en la Ecuación 8 y se miden, respectivamente, en m día^{-1} y en m; $\Delta = (\Delta_i + \Delta_f) / 2$ es la profundidad media de las aguas freáticas durante el período de δt (en m); Z_r es la profundidad de la zona radical (en m).

La Ecuación 12 se utilizó conjuntamente con el sistema de Ecuaciones 9, 10 y 11 para pronosticar el régimen hídrico. El uso práctico del sistema de las Ecuaciones 9, 10, 11 y 12 es muy sencillo, ya que los cálculos son realizables a mano o utilizando calculadoras simples. Un valor positivo de q_0 en la Ecuación 12 significa la percolación profunda. El valor negativo de esta variable significa el ascenso capilar.

Es posible reducir la cantidad de ecuaciones al unir, por ejemplo, las Ecuaciones 9 y 10 y después usar solamente tres ecuaciones en lugar de cuatro. Si las aguas freáticas se encuentran cerca de la superficie del suelo o si en una determinada área existe drenaje subterráneo, entonces se utilizan cuatro Ecuaciones (9, 10, 11 y 12) o tres, al unir las Ecuaciones 9 y 10. De igual manera, si las aguas freáticas están a profundidades mayores que 3 m, se utilizan las Ecuaciones 9, 10 y 11. En esta última situación, la Ecuación 12 se escribe de la siguiente forma:

$$q_0 = K_1 \Theta^n.$$

La alimentación de las aguas freáticas desde abajo (Ac) por la presión, se calcula de la siguiente manera: si la alimentación se lleva a cabo por capas superpuestas con poca permeabilidad y con un espesor l_a y con conductividad hidráulica K_a , entonces se utiliza:

$$A_c = K_a \delta a / l_a \quad (13)$$

donde δa representa un valor del nivel piezométrico que pasa por encima de la superficie del manto freático.

Por otro lado, si las aguas freáticas se encuentran en una capa poco permeable, con una conductividad hidráulica K_b , y la alimentación del agua proviene de un espesor bajo con alta permeabilidad, colocado a una profundidad h_a desde la superficie de las aguas freáticas, entonces se utiliza la siguiente fórmula:

$$A_c = K \delta a / h_a \quad (14)$$

El valor del flujo del sistema de drenes (D_r) depende de la profundidad del dren h_{dr} y de su diámetro d (d puede, asimismo, representar la plantilla de la zanja, cuando el drenaje es a cielo abierto):

$$D_r = (h_{dr} - \Delta_m) K / L [\ln(L/d) - 1] = q_{dr} (h_{dr} - \Delta_m) \quad (15)$$

donde L representa el espaciamiento entre drenes; $q_{dr} = K/L[\ln(L/d) - 1]$; $\delta a, l, h_a, h_{dr}, d, \Delta_m$ y L se miden en metros.

La Ecuación 13 se deriva de una de las fórmulas más conocidas para calcular la distancia entre drenes, y puede sustituirse por otras similares que describan en forma más exacta las condiciones geohidrológicas de la zona.

RESULTADOS

Pronóstico del Régimen Hídrico de los Suelos

Para pronosticar el régimen hídrico de los suelos, la Ecuación 4 puede resolverse por métodos numéricos, utilizando una computadora. A este tipo de ecuaciones se le anexan las siguientes condiciones inicial y de frontera:

$$t = 0 \quad Z \geq 0, \quad \theta = \theta(Z, 0), \quad H = H(Z, 0), \quad \Delta = \Delta(0) \quad (16)$$

$$t > 0 \quad Z = 0 \quad K \partial H / \partial Z = e - p - i \quad (17)$$

$$t > 0 \quad Z = Z_0 \geq \Delta(t) \quad -\partial H / \partial Z = q_{dr}(h_{dr} - \Delta) - F_c - A_c \quad (18)$$

$$\text{ó} \\ t > 0 \quad Z = Z_0 < \Delta(t) \quad -\partial H / \partial Z = 1 \quad (19)$$

donde $t = 0$ corresponde a la condición inicial. Aquí se señala el perfil conocido de distribución de la humedad del suelo $\theta(Z, 0)$ o del potencial $\Psi_m(Z, 0)$ o $H = H(Z, 0)$ hasta una profundidad de Z_0 . También se señala la profundidad inicial del nivel de las aguas freáticas $\Delta = \Delta(0)$, si $Z_0 > \Delta(0)$. Las condiciones cuando $t > 0$ reflejan los procesos ya conocidos que ocurren sobre la superficie del suelo ($Z = 0$) y en su límite inferior ($Z = Z_0$).

Se señala el curso de la dirección de la precipitación sobre la superficie del suelo, los riegos y la evaporación

con una intensidad dada p, i y e , respectivamente. En esta situación debe observarse la siguiente condición:

$$e + \int_0^Z \omega \, dZ = et \quad (20)$$

donde et es la intensidad conocida de evapotranspiración, Z_r es la profundidad del sistema radicular de las plantas. La gráfica de riegos puede no incluirse. En este caso, la ecuación se calcula de manera automática en función de los límites permitidos de los cambios de humedad en el suelo.

Para el límite inferior se señalan las condiciones del flujo del agua al dren $q_{dr}(h_{dr} - \Delta)$ y la alimentación de las aguas freáticas por la filtración desde los canales F_c , así como el ingreso de las aguas por presión del acuífero A_c . Si no existe drenaje, y las aguas freáticas no están profundas, entonces $q_{dr} = 0$. La superficie de las aguas freáticas se determina como el límite donde $\theta = m$ ó donde $\Psi_m = 0$ ó $H = -\Delta$. Si las aguas freáticas son profundas, es decir $\Delta(t) > Z_0$, entonces para el límite inferior se señalan condiciones de reflujo libre del agua hacia abajo ($-\partial H / \partial Z = 1$).

Los cálculos con las Ecuaciones 4 ó 1, considerando las condiciones inicial y de frontera (Ecuaciones 16 a 19), se cumplen en algunas horas (o incluso en algunos minutos) y dan la posibilidad de pronosticar los regímenes de: humedad del perfil del suelo, nivel de las aguas freáticas, riegos, gasto del drenaje e intercambio del agua en la zona de aireación.

Esta información puede utilizarse para pronosticar las cosechas de los cultivos, para evaluar los beneficios del riego y drenaje, y para conocer algunos efectos ecológicos de la aplicación de estos últimos. De igual manera, pero con menor información inicial, es posible obtener resultados análogos, con menor exactitud, con la aplicación de las Ecuaciones 9 a 12. A diferencia de los cálculos con las Ecuaciones 4 ó 1, estos cálculos se realizan para intervalos mayores: de 1 a 5 ó más días (Skaggs, 1980; Nikolski, 1988). Para los cálculos de las características del régimen hídrico como la infiltración desde la superficie del suelo, el intercambio entre la zona de aireación y las aguas freáticas y otras similares, puede ser muy útil la solución de la ecuación diferencial lineal del movimiento del agua en el suelo (Ecuación 5). Con la ayuda de esta ecuación se analizarán los procesos que representan un interés práctico del movimiento del agua en los suelos bajo riego y drenaje.

Infiltración del Agua en el Suelo bajo Riego por Gravedad

El estudio de los procesos de infiltración del agua al suelo tiene un especial significado para la correcta organización de los riegos en las áreas de regadío, y para el estudio de los procesos regulares de la corriente superficial del agua sobre el suelo. En las áreas con drenaje, este proceso tiene una serie de particularidades diferenciables, determinadas sobre todo por la cercanía del nivel de las aguas freáticas y por la forma particular del gradiente de humedad del suelo (a diferencia de los casos cuando el nivel freático es profundo).

Hasta el presente, en la práctica se utiliza ampliamente la fórmula empírica de Kostiakov (1952) que describe la dinámica de la infiltración del agua en el suelo:

$$V = \frac{V_0}{t^a} \tag{21}$$

donde V = velocidad de infiltración en un momento del tiempo t; V₀ = velocidad inicial de infiltración en t = 1; a = exponente empírico de grado; V₀ y a son valores constantes característicos del suelo.

En la actualidad, en diferentes países se ha investigado la teoría de infiltración. Uno de sus aspectos fundamentales trata sobre las condiciones cuando el nivel de las aguas freáticas es profundo.

La humedad inicial del suelo, el tipo de su distribución en el perfil del suelo y su efecto sobre la velocidad de infiltración. En esta sección se verán las particularidades del proceso de infiltración en suelos bajo riego y drenaje, y se analizará en qué forma la humedad inicial del suelo, el tipo de perfil de la humedad y la profundidad del nivel freático influyen en la velocidad de infiltración.

Entre las fórmulas citadas en la literatura, fundamentadas teóricamente y que describen de manera aproximada la dinámica de la infiltración, las ecuaciones de Averianov (1956) y Philip (1969) son las que de manera más sencilla y detallada consideran el efecto de la humedad inicial del suelo θ_i sobre la velocidad de infiltración V. El análisis muestra que, a mayor humedad inicial θ_i, menor es la velocidad de infiltración. En condiciones de prolongada infiltración y nivel de aguas freáticas profundo, la velocidad de infiltración disminuye hasta valores de la conductividad hidráulica K₁, menor que K₀, y se calcula con la Ecuación 2, utilizando θ = θ₁ = m - (0.05 a 0.15) y considerando

que para suelos arenosos se recomienda utilizar el contenido de aire de 0.05, y para suelos arcillosos el mismo puede alcanzar hasta 0.15.

Para explicar el efecto del tipo de perfil de la humedad de suelo θ_i(Z) sobre la velocidad de infiltración, se compararán dos ejemplos sencillos en los cuales:

1) θ_i(Z) crece linealmente con el contenido de humedad en un intervalo entre θ_i = θ₀, cerca de la superficie del suelo (Z = 0), hasta θ_i = θ₁, cerca de la superficie de las aguas freáticas (Z = Δ).

2) θ_i(Z) = θ_i es constante a lo largo del perfil del suelo.

Para facilitar el análisis matemático del referido problema, en lugar de la Ecuación 5, se describe una más sencilla:

$$\mu_1 \frac{\partial \Theta}{\partial t} = D \frac{\partial^2 \Theta}{\partial Z^2} \tag{22}$$

ya que de la teoría de la infiltración se desprende que la Ecuación 22 puede utilizarse para las investigaciones de los estados iniciales de infiltración, tal como se mostró arriba; precisamente en los estados iniciales se reflejan los efectos de la humedad del suelo sobre la infiltración.

Las condiciones inicial y de frontera pueden describirse de la siguiente forma:

$$t=0 \quad 0 \leq Z \leq \Delta \quad \text{Caso 1} \quad \Theta = \theta_i(Z) = \theta_i + (\theta_1 - \theta_i)Z/\Delta \tag{23}$$

$$\text{Caso 2} \quad \theta = \theta_i = \text{const.} \tag{24}$$

$$t > 0 \quad Z = 0 \quad \theta = 1 \tag{25}$$

$$t > 0 \quad Z = \Delta \quad \theta = 1 \tag{26}$$

Al introducir valores adimensionales:

$$\tau = Dt/\mu_1\Delta^2, \quad \zeta = Z/\Delta \tag{27}$$

Para mayor comodidad se puede tomar a θ_i = θ₀ = θ*, donde θ* es igual a lo que se menciona en las Ecuaciones 2 y 3. En este caso, la Ecuación 22 y las condiciones inicial y de frontera (Ecuaciones 23 a 26) se escriben de la siguiente forma:

$$\frac{\partial \Theta}{\partial \tau} = \frac{\partial^2 \Theta}{\partial \zeta^2} \tag{28}$$

$$\tau = 0 \quad 0 \leq \zeta \leq \Delta \quad \text{Caso 1} \quad \Theta = \zeta \tag{29}$$

$$\text{Caso 2} \quad \Theta = 0 \tag{30}$$

$$\tau > 0 \quad \zeta = 0 \quad \Theta = 1 \tag{31}$$

$$\tau > 0 \quad \zeta = 1 \quad \Theta = 1 \tag{32}$$

Se busca la expresión de la velocidad de infiltración:

$$V = - (D/\Delta)(\partial\Theta/\partial\delta) \text{ sobre } \zeta = 0 \tag{33}$$

$$v = - (\partial\Theta/\partial\zeta) \text{ sobre } \zeta = 0 \tag{34}$$

donde v = VΔ/D es la velocidad de infiltración (adimensional).

La expresión de v tiene la forma:

$$1) v_1 = 2 \sum_1^{\infty} e^{-\lambda n^2} = X_1(\tau) + X_2(\tau) - 1 \quad (35)$$

en Caso 1 y

$$2) v_2 = 4 \sum_1^{\infty} e^{-4v_n^2} = 2X_0(\tau) \quad (36)$$

en Caso 2. Aquí $n = 1, 2, 3, \dots$; $\pi = 3.14\dots$; $v_n = (2n - 1)\pi/2$; $X(\tau)$ son funciones teta:

$$X_0(\tau) = 2 \sum_1^{\infty} e^{-4\lambda n^2 \tau^2} \quad (37)$$

$$X_1(\tau) = \left(\frac{1}{2}\sqrt{\pi\tau}\right) [1 + 2 \sum (-1)^n e^{-n^2/4\tau}] \quad (38)$$

$$X_2(\tau) = \left(\frac{1}{2}\sqrt{\pi\tau}\right) [1 + 2 \sum e^{-n^2/\tau}] \quad (39)$$

Para valores reducidos de τ ($\tau < 0.1$) se tiene:

$$v_1 = (1/\sqrt{\pi\tau}) - 1 \cong (1/\sqrt{\pi\tau}) \quad (40)$$

$$v_2 = (1/\sqrt{\pi\tau}) \quad (41)$$

De lo anterior se desprende que en los momentos iniciales, la configuración del perfil de humedad (si es que cambia gradualmente) prácticamente no influye en la velocidad de infiltración. Un efecto sensible sobre la velocidad lo ejerce la humedad de la superficie del suelo en una capa que, según Philip (1969), es de casi 10 centímetros.

Para explicar si la configuración del perfil de humedad influye en condiciones de infiltración prolongada, se busca la expresión para las velocidades de infiltración v_1 y v_2 cuando $\tau > 0.1$; al compararlas entre sí dan:

$$v_1 = 2e^{-\pi^2 \tau} \quad (42)$$

$$v_2 = 4e^{-\pi^2 \tau} \quad (43)$$

La comparación de las Ecuaciones 42 y 43 muestra que v_2 es dos veces mayor que v_1 . De lo cual se desprende que el tipo del perfil inicial de humedad, bajo condiciones de infiltración prolongada, tiene un gran efecto sobre reducción de la velocidad de infiltración. Este efecto aparece aproximadamente en $\tau > 0.1$ ó $t > 2.4 (\theta_1 - \theta_*)\Delta^2/K_1 h_c$ horas después del inicio de la infiltración y debe tomarse en consideración, por ejemplo, en la práctica del riego cuando el nivel freático está cerca de la superficie del suelo (aproximadamente

menos de 1.5 m). En esta situación, la velocidad de infiltración se baja mucho más rápido que en las condiciones cuando el nivel freático está bastante profundo. Por eso, la duración y láminas de aplicación de cada riego, así como la intensidad de aspersión, tienen que reducirse aproximadamente dos veces en las condiciones cuando el nivel freático está cerca de la superficie del suelo en comparación con las condiciones cuando el nivel freático está bastante profundo.

Efecto de la profundidad del nivel de aguas freáticas sobre la velocidad de infiltración. Existe una marcada diferencia de la velocidad de infiltración cuando el nivel de aguas freáticas es profundo (Caso 1, $\Delta = \infty$) y cuando está cercano a la superficie del suelo (Caso 2, $\Delta \ll \infty$), para explicarla se utilizará un método simplificado, análogo al anterior y fundamentado en la Ecuación 28. A esta última ecuación se le agregan las siguientes condiciones inicial y de frontera.

$$\tau = 0 \quad 0 \leq Z \leq \Delta \quad \Theta = 0 \quad (44)$$

$$\tau > 0 \quad Z = 0 \quad \Theta = 1 \quad (45)$$

$$\tau > 0 \quad \text{Caso 1 } Z = \infty \quad \Theta = 0 \quad (46)$$

$$\text{Caso 2 } Z = \Delta \quad \Theta = 1 \quad (47)$$

Tales condiciones reflejan aproximadamente el tipo de gradiente inicial de humedad que se observa en la realidad al tener niveles freáticos profundos y cercanos a la superficie.

La solución a este problema, en relación a v , cuando el nivel freático es profundo (Caso 1) tiene la forma de:

$$v_3 = 1/\sqrt{\pi\tau} \quad (48)$$

y cuando el nivel freático está cercano a la superficie, la solución se expresa por la función v_2 , descrita en la Ecuación 36.

La relación entre estas dos velocidades es el coeficiente β :

$$\frac{v_2}{v_3} = \frac{V_2}{V_3} = 2\sqrt{\pi\tau} X_0 = \beta \quad (49)$$

En la Figura 1 se muestra una gráfica de la Ecuación 49. De esta gráfica se desprende que las aguas freáticas, al inicio de la infiltración, prácticamente no influyen en la velocidad de absorción. Sin embargo, después de un determinado tiempo ($\tau > 0.05$) paulatinamente disminuye la velocidad de infiltración. En la práctica es necesario considerar esta situación. Por ejemplo, si se hacen experimentos de infiltración de agua al suelo en zonas con nivel de aguas freáticas cercanas a la superficie (menos de 1.5 a 2 m) sucede que desde el

zonas con nivel de aguas freáticas cercanas a la superficie (menos de 1.5 a 2 m) sucede que desde el comienzo de $t_0 = 0.05 (\theta_1 - \theta_0) \Delta^2 / K_1 h_c$, es necesario o detener el experimento o introducir la corrección β a los datos del experimento. De manera aproximada, el valor t_0 es de 1 a 3 horas.

Infiltración de agua al suelo bajo riego por aspersión. Los procesos de infiltración descritos anteriormente fueron simplificados por la suposición de alcanzar rápidamente la humedad de la capa superficial del suelo desde el valor inicial θ_i hasta el valor fina θ_1 .

En la realidad, a la hora de llover o regar con aspersión con intensidad i , la humedad del suelo (incluyendo la capa superficial) poco a poco aumenta de un estado inicial θ_i a un determinado límite θ_2 , valor que depende de la intensidad de la lluvia. A mayor i , mayor será θ_2 . Cuando $i > K_1$, se provoca la saturación del suelo, y la humedad de la capa superficial alcanza el valor de θ_1 ; de esta manera se forma el escurrimiento superficial del agua (Poulovassilis y Kerkides, 1991; Steward y Nielsen, 1990).

Es conocido que el perfil de humedad depende de la intensidad de la lluvia. A menor intensidad de lluvia, menor es la manifestación de la zona de humedad en el perfil del suelo (la humedad cambia poco con relación a la profundidad). Bajo una misma lámina de riego, a menor intensidad de lluvia, mayor es la profundidad que alcanza a mojarse durante el riego. En los suelos arcillosos tiene gran importancia práctica la determinación de la duración del riego por aspersión t_0 , hasta la formación del escurrimiento superficial.

Por lo general el tiempo t_0 se determina completamente de experimentos, o con cálculos que indican la energía con la que cae la lluvia, además de las características empíricas de la capacidad de infiltración del suelo y la resistencia del mismo a la destrucción que provocan las gotas de lluvia. La preferencia del método empírico se explica por la complejidad del cuadro físico de la infiltración del agua en el suelo durante la lluvia.

A continuación se analiza, de manera aproximada, este proceso durante la lluvia, con una intensidad i , nivel freático profundo y una distribución uniforme de la humedad inicial del suelo. La solución de la Ecuación 5 con las siguientes condiciones inicial y de frontera:

$$t = 0 \quad Z \geq 0 \quad \theta = \theta(0, Z) = \theta_i \quad (50)$$

$$t > 0 \quad Z = 0 \quad -D \partial \theta / \partial Z + B \theta = i \quad (51)$$

$$t > 0 \quad Z = \infty \quad \theta = \theta_1 \quad (52)$$

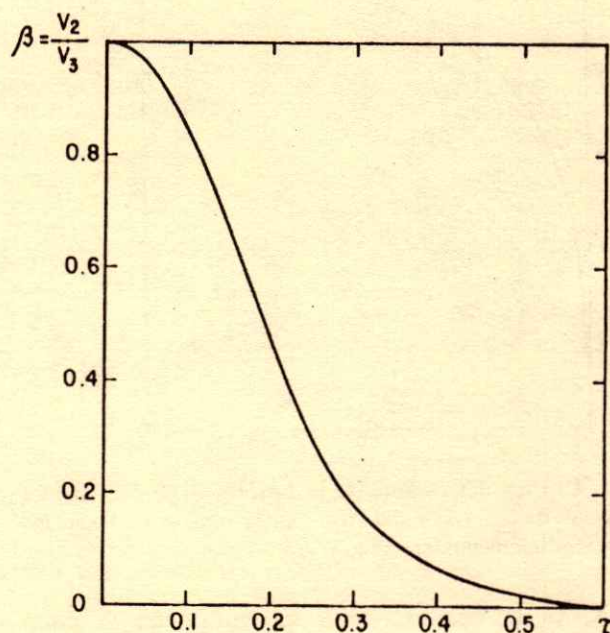


Figura 1. Cambios en la velocidad de infiltración v_2 en el transcurso del tiempo τ cuando el nivel freático está cercano a la superficie en proporción a la velocidad de infiltración v_3 con aguas freáticas profundas de acuerdo con la Ecuación 49. Todos los valores son adimensionales.

que describen el aumento de la humedad de la capa superficial del suelo $\Theta_0(Z = 0)$ durante la lluvia con una intensidad i , tiene la siguiente forma:

$$Z = 0 \quad \Theta_0 = \Theta + \rho F(R) \quad (53)$$

donde

$$F(R) = 0.1 + e^{-R/4} \sqrt{R/\pi} - (1 + R/2) \operatorname{erf} \sqrt{R/2} \quad (54)$$

$pi = i/K_1$, es la intensidad de la lluvia o del riego por aspersión (adimensional); $R = K_1 t / [h_c(\theta_1 - \theta_0)]$ es la duración de la lluvia o del riego por aspersión (adimensional); los otros valores son los usados anteriormente. La función $F(R)$ crece de 0 hasta 1 (Figura 2). El escurrimiento superficial en correspondencia con la Ecuación 53, debe comenzar en el momento R_0 , cuando $\Theta_0 = 1$. Por eso, de la Ecuación 53 se determina R_0 de la siguiente forma:

$$R_0 = T[(1 - \Theta_1)/pi] \quad (55)$$

donde $T = \operatorname{inv} F(R)$, función inversa de $F(R)$ en la Ecuación 54.

Al pasar a la forma con asignación de valores a R_0 y al considerar la Ecuación 7, se obtiene:

$$t_0 = [(\theta_1 - \theta_0)/h_c] T[(K_1 - K_i)/i] \quad (56)$$

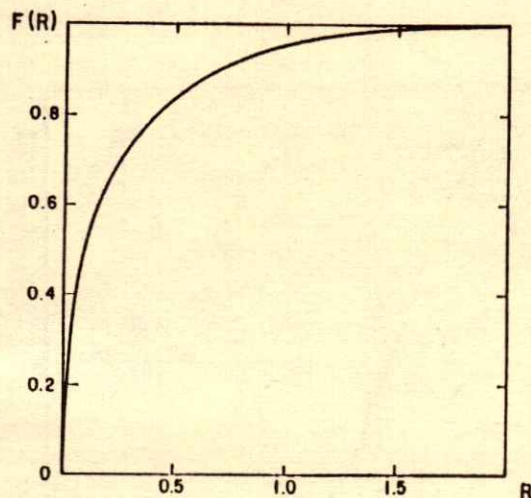


Figura 2. Gráfica del cambio de la función $F(R)$ en relación con duración de la lluvia o del riego por aspersión R . Todos los valores son adimensionales.

donde K_i es la conductividad hidráulica de la capa superficial del suelo con humedad inicial θ_i . En la Figura 3 se muestra una gráfica complementaria de la función T para diferentes valores de $(K_1 - K_i)/i$. Al crecer i de 0 a K_1 (o más precisamente de i a K_i) o más alto, la función T disminuye de ∞ a 0. De la Ecuación 56 se desprende que a mayor humedad inicial del suelo θ_i , mayor es la intensidad de la lluvia i , y a menor capacidad de infiltración del suelo, menor es el valor de t_0 . Esta conclusión es congruente con las observaciones prácticas (Steward y Nielsen, 1990).

La Ecuación 56 puede utilizarse para cálculos prácticos del tiempo de duración del riego por aspersión t_0 hasta el momento en que se forma el escurrimiento superficial. Es notorio que la Ecuación 56 se canaliza a casos cuando la lluvia no provoca erosión ni cambios en la capacidad de absorción de los suelos. Sin embargo, se conoce que las lluvias intensas con gotas de diámetro mayor provocan la destrucción de los agregados del suelo, obstruyen los poros y provocan la formación de costras de arcilla que disminuyen seriamente la capacidad de absorción del suelo. Debido a la situación anterior, en la literatura existen numerosas recomendaciones sobre los valores permitidos de la intensidad de la lluvia, el tamaño de las gotas con relación al suelo, a los cultivos agrícolas y a la pendiente de la superficie del terreno.

Entre los múltiples métodos para evaluar las características erosivas permisibles de las lluvias, en los últimos años se ha establecido un método único, y por lo visto universal, basado en el análisis de las características energéticas de las lluvias, además de

considerar la resistencia del suelo a la erosión. De acuerdo con este método, en calidad de característica energética principal de la lluvia, se utiliza su potencia específica N (Shvebs, 1981; Abramov y Stepin, 1986):

$$N = \gamma_a i \sum (n_g V_g^2) \quad (57)$$

donde γ_a es densidad del agua; i es intensidad de la lluvia; n_g es espectro de lluvia (porcentaje de las gotas de lluvia con un diámetro d_g , que caen a una velocidad V_g). Según los autores referidos, el índice de potencia específica de la lluvia de las principales máquinas de aspersión varía entre 0.10 y 0.20 $W m^{-2}$. Para las máquinas aspersoras con radio de aspersión de hasta 50 a 70 metros, el valor de N alcanza 0.9 $W m^{-1}$.

El valor de la potencia específica permitida N_0 para diferentes suelos varía entre 0.1 y 0.6 $W m^{-2}$. El índice menor corresponde a suelos limosos y el valor mayor corresponde a suelos arenosos.

Cuando $N > N_0$, la velocidad de infiltración y el tiempo permitido de riego t_0 disminuyen como resultado de la destrucción de las partículas del suelo en la superficie del terreno durante el riego.

La vegetación disminuye considerablemente la acción destructiva de la lluvia. A valores de $N \leq N_0$, la erosión por la irrigación no ocurre. La duración del riego por aspersión t_0 , determinada por la Ecuación 56, debe precisarse considerando la potencia específica de la lluvia N . El valor preciso de t_1 puede obtenerse de la siguiente forma:

$$t_1 = \eta t_0 \quad (58)$$

donde η es el coeficiente que precisa la posible disminución de la capacidad de la infiltración al suelo ($\eta \leq 1$) por la destrucción de los agregados de la superficie del suelo. Este coeficiente, partiendo de lo propuesto por Shvebs (1981), puede determinarse con la siguiente fórmula empírica:

$$\eta = K_p e^{-K_s(N-N_0)} \quad (59)$$

donde K_p y K_s son los coeficientes que caracterizan las condiciones de la vegetación y el suelo, respectivamente. Según Shvebs (1981), $K_s \approx 2$ a 4 m^2/W . Abramov y Stepin (1986) evaluaron el coeficiente K_p (adimensional) para una serie de cultivos agrícolas en función de sus fases de crecimiento. En cereales, desde el comienzo de la formación hasta la maduración del grano, paulatinamente K_p crece de 1.1 a 1.6; en la fase de maduración del grano con consistencia lechosa se tiene $K_p = 1.6$ a 2.0; después de la cosecha, en los rastrojos

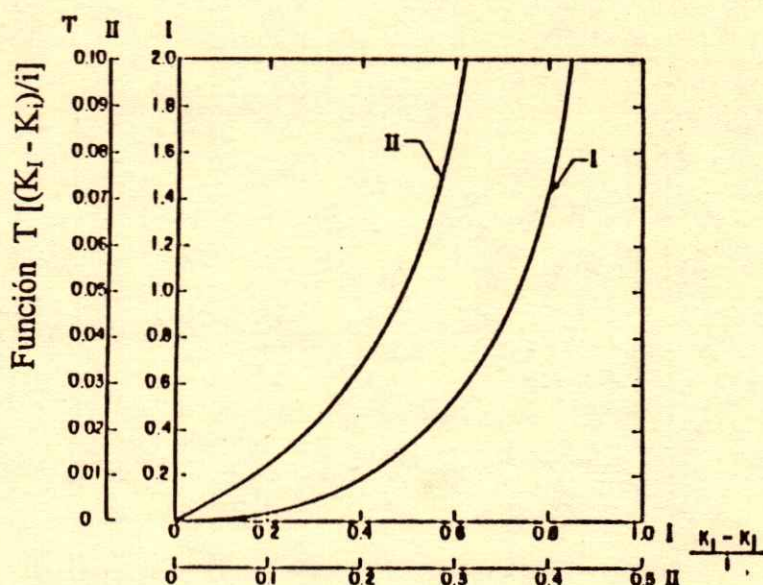


Figura 3. Gráfica de la función $T[(K_1 - K_0)/i]$, donde $(K_1 - K_0)/i$ es el valor de la inverso de la intensidad de la lluvia o del riego por aspersión, para el cálculo de la duración del tiempo t_0 hasta la formación del escurrimiento superficial según la Ecuación 56. Todos los valores son adimensionales. K_1 es la conductividad hidráulica del suelo, cuando la humedad del suelo está cerca del estado de saturación y es igual a $\theta_1 = m - (0.05 \text{ a } 0.15)$, donde m es la porosidad; K_0 es la conductividad hidráulica del suelo antes de la lluvia o del riego cuando la humedad es igual a θ_1 .

restantes, se observa $K_p = 1.2$ a 1.3 . Para las legumbres, K_p crece de 1.02 en el momento de germinación, hasta 1.8 hacia el momento de la cosecha. Para el pasto, K_p aumenta en la medida que crece de 1.3 hasta 1.8 . La duración permitida del riego t_1 depende también de la pendiente de la superficie del suelo. A mayor pendiente, menor será el valor de t_1 . Para pendientes menores que 0.05 , es posible omitir el efecto de las mismas. El coeficiente η prácticamente siempre es mayor que 0.1 . Los cálculos de dependencia arriba descritos permiten, de manera más precisa, acercarse a los requerimientos de las técnicas de aspersión (intensidad permitida de la lluvia, tamaño de las gotas, y otros) y precisar el régimen de riego para los cultivos agrícolas.

Intercambio de Agua entre la Zona de Aireación y las Aguas Freáticas

Este proceso acontece de manera dinámica y juega un importante papel no sólo en el régimen hídrico del suelo, sino también en sus características alimenticias y de temperatura. Calcular la dinámica del intercambio de agua es posible con la ayuda de soluciones numéricas de

la ecuación diferencial no lineal (Ecuaciones 1 ó 4) y a través del sistema de ecuaciones algebraicas de balance (Ecuaciones 10 a 12). En la literatura (Golovanov y Palacios, 1979; Nikolski, 1977) se muestran ejemplos de la utilización de la ecuación del movimiento del agua en régimen permanente para obtener la fórmula de cálculo del intercambio q_0 . En estas publicaciones se utilizó la Ecuación 1, cuando $\partial\theta/\partial t = \omega = 0$. También se utilizaron la relación $K(\theta)$ de acuerdo con la Ecuación 2 y además de las diferentes expresiones de la función de $\Psi(\theta)$. Cuando se utiliza la función $\Psi(W)$, en forma de la Ecuación 6, se obtiene la Ecuación 12, la cual es bastante sencilla y útil. De acuerdo con esta fórmula, la dirección e intensidad del intercambio de agua q_0 depende de las características físicas e hídricas del suelo y, además, de la humedad θ y de la profundidad del nivel de las aguas freáticas Δ . Para la utilización práctica de esta fórmula, es necesario promediar los valores variables de θ y Δ en un intervalo de δt para poder tomarlos como constantes.

En la Figura 4 se muestra la gráfica de dependencia $q_0(\theta, \Delta)$ y la comparación con datos experimentales, obtenidos en un suelo limoso. El coeficiente de

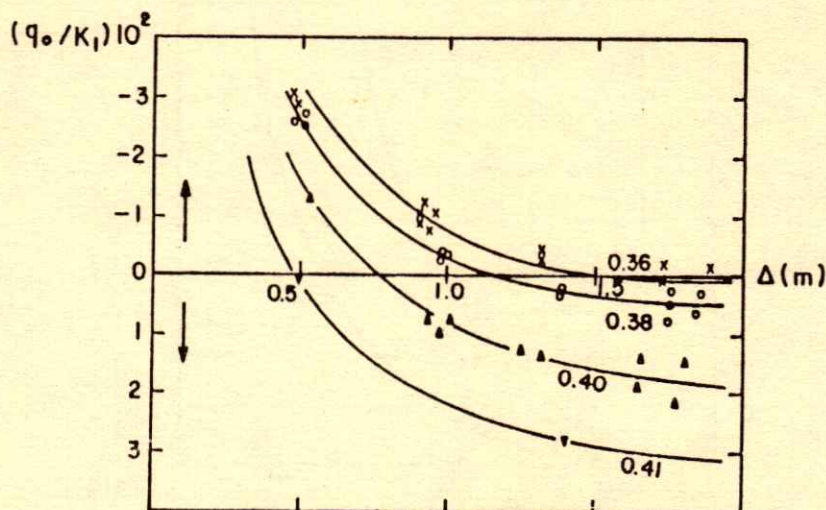


Figura 4. Comparación de valores de intercambio de agua $(q_0/K_1)10^2$ (adimensional) en función de la profundidad del nivel freático Δ (en m) y la humedad del suelo θ (en cm^3/cm^3) según la Ecuación 12 y los determinados en el campo. Las cifras corresponden a los significados de θ en la capa superficial de 0 a 40 cm, cuando $\Delta \geq 1$ m, y de 0 a 20 cm, cuando $\Delta = 0.5$ m; $K_0 = 0.25$ m/día; $K_1 = 0.08$ m/día; $m = 0.52$; $\theta_1 = 0.47$; $\theta_s = 0.25$; $h_c = 1.25$ m.

correlación entre los valores de la Ecuación 12 y la medida de q_0 no es menor que 0.90 ± 0.03 .

De la Ecuación 12 se desprende que:

- 1) Si la humedad del suelo en la capa superficial θ , como una media en el período observado, es mayor que θ_0 (correspondiente a la humedad de marchitamiento), entonces, con un nivel de aguas freáticas profundo, es inevitable una pérdida de agua y de nutrientes por un flujo hacia abajo fuera del área del sistema radicular de las plantas. Como se sabe, el valor θ_0 es comparativamente pequeño. Por esa razón, incluso en las regiones de estepas del mundo, con una precipitación anual del orden de 300 a 400 mm, las pérdidas por percolación profunda corresponden a 30% de la precipitación total anual. Cuando el nivel de las aguas freáticas está cercano a la superficie (que es aproximadamente menor que 1.5 a 2 m), el flujo de agua hacia abajo es inevitable si la humedad de las capas superficiales del suelo es mayor que el equilibrio o aproximadamente mayor que el valor de igualdad de e^y .
- 2) Si las aguas freáticas se encuentran cerca y la humedad promedio de las capas superficiales del perfil del suelo θ es menor que e^y , entonces acontece el ascenso capilar de las aguas freáticas. La intensidad del

ascenso capilar puede calcularse con la Ecuación 12, colocando en ella los valores conocidos de θ y Δ . Si el valor absoluto de q_0 , al calcularlo con la Ecuación 12, es mayor que la diferencia de las intensidades de la evaporación potencial y las precipitaciones, entonces debe tomarse el valor absoluto de $q_0 = e - p$ (es decir, el valor absoluto acumulado de $Q_0 = ET_0 - Pr$, para ese período. Aquí, ET_0 es una lámina de la evapotranspiración potencial).

- 3) La intensidad del intercambio de agua depende considerablemente de los valores del exponente n en las Ecuaciones 3 ó 7, que describen la dependencia de la conductividad hidráulica K con la humedad del suelo θ . A mayor valor de n , menor q_0 (bajo condiciones iguales de humedad del suelo). Las características de capilaridad del suelo también influyen en el intercambio de agua. En los suelos con valores altos de h_c , el ascenso capilar suelo es intenso (es decir, en suelos limosos el ascenso capilar es mayor que en suelos arenosos).

- 4) En las zonas húmedas, los suelos drenados con aguas freáticas cercanas a la superficie tienen cosechas altas cuando el intercambio de agua q_0 en total es "nulo". Es decir, cuando la suma de flujos de percolación profunda

en el período vegetativo es igual a la suma de flujos de ascenso capilar. Con esta condición, de la Ecuación 12 puede obtenerse la expresión para determinar la profundidad óptima del nivel freático Δ_0 , donde se esperan las cosechas máximas:

$$\Delta_0 = \Psi_m(\theta_{opt}) + Z_r/2 \quad (60)$$

donde θ_{opt} es la humedad óptima conocida del suelo para las plantas en una capa de suelo ocupada por el sistema radicular con una profundidad Z_r ; $\Psi_m(\theta)$ es la dependencia conocida del potencial capilar del agua en el suelo con relación a la humedad del mismo.

CONCLUSIONES

En los diseños de sistemas de riego y drenaje es necesario realizar conjuntamente los cálculos del régimen de humedad del suelo y del nivel freático.

La intensidad de infiltración del agua en el suelo, del intercambio de agua entre capas separadas del perfil edáfico, y entre toda la zona de aireación y las aguas freáticas, depende principalmente de dos variables (aparte de las características físicas e hídricas del suelo): la humedad en la capa superficial del suelo y la profundidad de las aguas freáticas. Esta observación es muy importante cuando las aguas freáticas se encuentran cerca de la superficie o aproximadamente a menos de 1.5 a 2 metros.

Las particularidades de los procesos de infiltración e intercambio de humedad en el suelo, descritos en el presente trabajo, son necesarias en la selección de las técnicas de riego, en la argumentación de los regímenes de riego y en la planeación de experimentos en las tierras bajo riego y drenaje. Es necesario considerar, en las evaluaciones de los posibles efectos ecológicos, al aplicar el riego y el drenaje: la erosión hídrica del suelo y la lixiviación de nutrimentos, pesticidas o de sales tóxicas del suelo.

AGRADECIMIENTO

Se agradece la colaboración en la traducción del ruso al español del Dr. Ramón Cruz A.

LITERATURA CITADA

- Abramov, A.I. y A.Y. Stepin. 1986. Estimación de las características de erosión de los campos agrícolas en condiciones bajo riego por aspersión (en ruso). Doklady VASJNIL 8: 32-38.
- Averianov, S.F. 1956. Filtración de los canales de riego y su influencia sobre el régimen de manto freático (en ruso). pp. 85-447. In: A.N. Kostiakov, N.N. Favorin y S.F. Averianov. Influencia de los sistemas de riego sobre el régimen de manto freático, Moscú, Ed. Academia de Ciencias de la URSS, Moscú, URSS.
- Brooks, R.H. y A.T. Corey. 1964. Hydraulic properties of porous media. Hydrol. Paper 3. Colorado State University. USA.
- Cary J.W., C.S. Simmons, y J.F. McBride. 1989. Predicting infiltration and redistribution in unsaturated soils. Soil Sci. Soc. Am. J. 53: 335-342.
- Faybishenko, B.A. y K. Roth. 1995. Steady state flow in unsaturated two-dimensional macroscopically homogeneous medium. Water Resources Research 31: 2127-2140.
- Golovanov, A.I. y O. Palacios V. 1979. Interacción entre la humedad del suelo y el manto freático. Agrociencia 36: 29-40.
- Kostiakov, A.N. 1952. Los fundamentos de hidromejoramiento de las tierras agrícolas (en ruso). Seljhozgiz, Moscú, URSS.
- Nikolski, Y.N. 1977. The dependence of irrigation requirements on water table depth in drained lands. Agric. Wat. Manag. 1: 191-196.
- Nikolski, Y.N. 1988. Cálculo del régimen hídrico de suelos bajo drenaje agrícola (en ruso). pp. 5-51. In: Hidromejoramiento de suelos bajo riego y drenaje. MGMI, Moscú, URSS.
- Pashkovski, I.S. y V.E. Chulaevski. 1980. Estimación de la infiltración al suelo en condiciones bajo drenaje agrícola (en ruso). Trudy Soyuzvodproyekt 53: 132-138.
- Philip, J.R. 1969. Theory of infiltration. Adv. in Hydroscience 5: 215-297.
- Poulovassilis, A. y P. Kerkides. 1991. An investigation of relationships between ponded and constant flux rainfall infiltration. Water Resources Research 27: 1403-1409.
- Shvebs, G.I. 1981. Fundamentación teórica de la protección de suelos contra su erosión (en ruso). Vyscha Shkola, Kiev-Odesa, URSS.
- Skaggs, R.W. 1980. Drainmod reference report, methods for design and evaluation of drainage water management systems for soils with high water tables. Report for USDA-SCS. S.Nat.Tech.Center, Texas, USA.
- Steward, B.A. y D.R. Nielsen (eds). 1990. Irrigation of agricultural crops. Agronomy Publ. 30. Madison, Wisconsin, USA.

MAIZE PROXIMITY AND PRUNING EFFECTS ON NUTRIENT COMPOSITION OF PLUM TREES GROWING UNDER RAINFED AGRICULTURE

Efecto de la Proximidad del Maíz y de la Poda sobre la Composición Nutricional de Árboles de Ciruelo en Agricultura de Temporal

José I. Cortés Flores¹, Ranferi Maldonado Torres², Jorge D. Etchevers Barra¹, Antonio Turrent Fernández.¹

SUMMARY

Maize proximity to rows of trees and pruning effects on nutrient composition of plum trees growing under rainfed agriculture, were evaluated during three years. Leaf P, K, Ca, Mg, Fe and Mn concentrations, and some cases leaf Zn level corresponded to levels considered as adequate in the tree for normal growth, but affected by treatments except for Mg and Zn elements. Nitrogen level was adequate only in one year, and both leaf N and P concentrations were increased by pruning and closer maize proximity. Leaf K level was affected by the interaction between pruning, maize proximity and year. A reduction in plum leaf K concentration was compensated by moving away maize proximity in unpruned trees and by pruning regardless of maize proximity. Leaf Ca, Fe, and Mn concentrations were different between years. Lower leaf levels of these elements would be due to a lower moisture content within the soil profile during the main growing period of plum trees. For an optimum nutrient status of plum trees growing in strip intercropping pattern, besides pruning trees and moving away the first maize row to 2 m from row of trees, it seems necessary to fertilize plum trees themselves.

Index words: Nutrient competition, multiple cropping, fruit trees, leaf analysis, soil tests.

RESUMEN

Se evaluó el efecto de la poda y proximidad del maíz a las hileras de árboles sobre la composición

¹ Programa de Edafología-IRN, Colegio de Postgraduados, 56230 Montecillo, México

² Departamento de Suelos, Universidad Autónoma Chapingo, 56230 Chapingo, México

Aceptado: Marzo de 1996.

mineral de árboles de ciruelo en un huerto intercalado en condiciones de temporal. Las concentraciones de P, K, Ca, Mg, Fe y Mn, y en algunos casos de Zn, en la hoja, correspondieron a las consideradas como adecuadas para el crecimiento normal del árbol, con una variación significativa por efecto de los tratamientos aplicados, con excepción de los elementos Mg y Zn. El nivel de nitrógeno fue adecuado solamente en un año, el cual junto con la concentración de P en la hoja se incrementaron por la poda y la cercanía del primer surco de maíz a 1 m de la hilera de árboles. El nivel de K en la hoja fue afectado por la interacción entre los factores poda, proximidad del maíz y año. La disminución de la concentración de K en la hoja de los árboles podados se compensó al alejar el primer surco de maíz a 2 m de la hilera de árboles en los árboles podados y a través de la poda, independientemente de la proximidad del primer surco de maíz. Las concentraciones de Ca, Fe y Mn fueron menores en los años en que el contenido de humedad en el perfil del suelo fue menor durante el período principal de crecimiento de los árboles de ciruelo. Se puede concluir que para una nutrición óptima de los árboles de ciruelo en huertos intercalados con maíz, además de podar y alejar el primer surco de maíz a 2 m de la hilera de árboles, es necesario definir una fertilización para los árboles mismos.

Palabras clave: Competencia nutricional, cultivos múltiples, árboles frutales, análisis foliar, análisis de suelos.

INTRODUCTION

Multiple cropping for food production is in widespread use by farmers in the warmer parts of the world at all levels of agriculture technology (Andrews and Kassam, 1976). In Mexico, however, in the highlands, multiple cropping also is being used by

small farmers. Maize and deciduous fruit trees growing in strip intercropping pattern under rainfed agriculture is a common practice in part of Puebla Valley (CIMMYT, 1974). Small farmers have adopted this system because it offers more dependable returns than sole cropping practices. Plum, pear, apples, and other native fruit trees, however, are growing without pruning and their mineral nutrition depends on the fertilizers applied to maize crop cultivated between tree rows. Furthermore, the first row of maize on either side of tree rows is at a distance of one meter. Studies on rates of maize fertilization under this cropping system have shown that rows of maize on either side of tree rows should receive less fertilizer than the other rows (CIMMYT, 1974). However, there is no information on nutrient status of fruit trees growing under this cropping system, such as plums, which show some mineral deficiencies, low yields and poor fruit quality. Competition for minerals by proximity of cover crops and sod to row of apple trees, vine grapes and peach trees, has been reported by several people (Bould and Jarret, 1962; Tan and Crabtree, 1990; Welker and Gleen, 1985, 1989, 1991). Then, this study was undertaken to define if nutrient requirements established for normal growth of plum trees, could be met by pruning and differing maize proximity in traditional orchards under rainfed agriculture in Puebla Valley.

MATERIALS AND METHODS

A field experiment was conducted during 1986, 1987 and 1988 in a mature orchard in Puebla Valley. The soil was a Fluvisol (Werner, 1978), locally recognized within the group of deep soils of Popocatepetl, which cover an area of 33 618 ha (CIMMYT, 1974). The texture of the upper 20-40 cm of these soils is loamy sand or sandy loam, with an organic matter content less than 0.5 percent, a pH around 6.5, is high in K and Ca, and is fairly high in P. Underlying this horizon is a layer about 2 m deep with a loam or clay-loam texture that is largely responsible for the high productivity of these soils. This lower horizon has a pH of about 7.0, a CEC of around 15 me/100 g of soil, and 8 percent of available moisture when wet to the field capacity. These soils, when properly managed, can be planted in April and early

May with residual moisture from the previous year (CIMMYT, 1974). Maize between rows of plum trees was planted every year in late April. Plum trees cultivar Mettley planted at a spacing of 3.5 x 7 m were grafted in 1980 on peach seedlings 2-years old. A randomized complete-block design with two factors and four replications was used. Each replication of each treatment had three trees. Factor one was maize proximity at 1 and 2 m from row of trees. Factor two was pruning that included pruned and unpruned trees (Pt and Ut, respectively). In pruned trees, by shortening back and thinning out of branches was eliminated one third of top in 1986. In the next two years pruning only eliminated dead wood or interfering branches and water sprouts. Maize at a population density of 60 000 plants ha⁻¹ received 60 and 70 kg of N and P₂O₅ ha⁻¹ at planting time every year. Sixty days later, maize crop received a second application of N at a rate of 100 kg ha⁻¹. Urea and triple superphosphate were the N and P sources. Plum trees were not fertilized. Rainy season in the area is from early May to late September.

Every year in last week of May (around 100 days after full bloom) whole plum leaves of unfruiting spurs were collected and were used to determine N, P, K, Ca, Mg, Fe, Zn and Mn concentrations. Leaves were washed with deionized water, dried at 65 °C, and ground to pass a 40-mesh screen. Leaf samples were digested in a nitric-perchloric acid mixture. Calcium, Mg, Fe, Zn, and Mn concentrations in the digest were determined using an atomic absorption spectrophotometer. Leaf N level was determined using the micro-Kjeldahl digestion method. Leaf P and K concentrations were determined using the vanadate-molybdate-yellow method and the flame photometer procedure, respectively.

Soil samples were collected at 1.5 m from rows of trees in June 1986 and analyzed for pH (1:1 H₂O), electrical conductivity (1:5), organic matter and total nitrogen, extractable P, available Fe, Zn and Mn (DTPA), CEC and exchangeable Ca, Mg and K (1 N NH₄OAc, pH 7.0) and soil texture using Bouyoucos procedure (Bouyoucos, 1951) (Table 1).

Data were statistically analyzed using a combined analysis of variance to detect the significance of main effects of maize proximity, pruning and year, and the interactions between them. Significant main effect or

interaction means were separated by LSD test, at $P \leq 0.05$.

RESULTS AND DISCUSSION

Leaf P, K, Ca, Mg, Fe, and Mn concentrations, and most cases leaf Zn level corresponded to levels reported as adequate in the tree for normal growth (La Rue and Gerdts, 1976) but significantly affected by treatments except Mg and Zn elements (Tables 2 and 3, Figure 1). Nitrogen level was adequate (La Rue and Gerdts, 1976) only in 1987, however, both leaf N and P concentrations were significantly increased by pruning and closer maize proximity (Table 2, Figure 1). The increased levels of N and P in pruned trees would be related to the reduced number of branch ends and to the reduced spread of branches left. Then, there were fewer shoots that received more of the mineral nutrients and water from the soil at least until reduction in root growth re-establishes the balance between root and top (Chandler, 1965). Being maize proximity closer to row of tree, N and P applied to maize crop were closer to roots of plum trees, being possible a greater absorption of both nutrients. Leaf P level even though was found as adequate during three years, it significantly decreased in 1988 (Figure 1). This result must be due to the amount of available moisture in the soil profile during the main growing period of plum trees, which depends on the residual moisture from the previous year and from the amount of current precipitation up to leaf sampling date. In 1986 and 1987, the total amount of precipitation was 816.3 and 644.8 mm, respectively, and current precipitation in 1987 and 1988 was 72.5 and 52.4 mm, respectively. Furthermore, the soil test values (Table 1) indicate that the deep soil of Popocatepetl derived from a light-brown volcanic ash (CIMMYT, 1974), is poor in organic matter and low in P throughout the profile (Thomas and Peaslee, 1973).

Leaf K concentration was significantly affected by the interaction between pruning, maize proximity and year (Table 2). The results suggested that in 1986, a reduction in plum leaf K level could be compensated by moving away maize proximity in unpruned trees and by pruning regardless of maize proximity. Moving away maize proximity increased soil volume for plum roots and diminished competition between roots of both species for soil K. In pruned trees there were fewer shoots demanding for K, and water. In 1987, however,

moving away maize proximity did not compensate for a reduction in leaf K on the same trees. In this year, fruit yield of unpruned trees with maize proximity at 2 m from row of tree was $25.5 \text{ kg tree}^{-1}$ against 13.6 and $10.0 \text{ kg tree}^{-1}$ in 1986 and 1988, respectively. Yield of trees in the other three treatments ranged from 4 to 10 kg tree^{-1} during three years (unpublished data). These results suggest that differences in leaf K level from year to year were due to the size of the crop, in interaction with pruning and maize proximity. Then, in

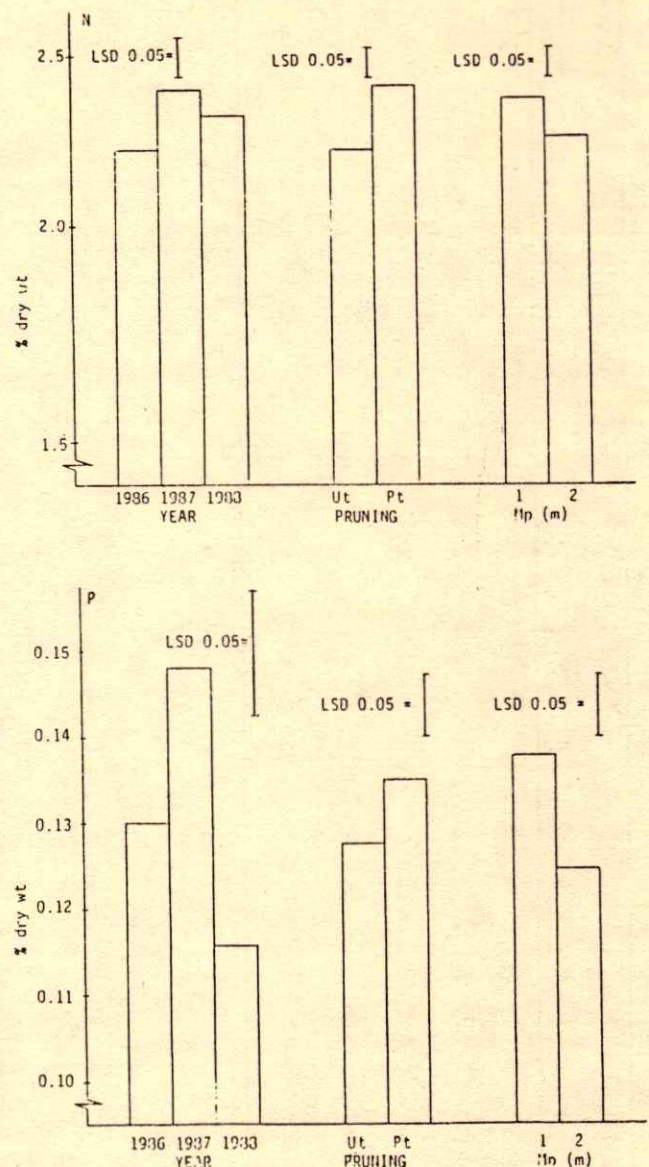


Figure 1. Leaf N and P concentrations in plum trees as a function of year, pruning and maize proximity.

Table 1. Soil test values for the studied orchard.

Depth cm	pH	EC dSm ⁻¹	CEC meq/100 g soil	Exchangeable cations			OM %	N _t %	Extractable P ppm	DTPA available			Soil separate			Textural class
				K	Ca	Mg				Fe	Zn	Mn	Sand	Silt	Clay	
0-30	6.1	0.70	8.3	0.40	2.82	2.58	0.9	0.02	6.5	8	6	45	66	14	20	Sandy loam
30-60	6.5	0.85	11.5	0.56	4.38	4.11	0.7	0.03	6.5	8	6	30	58	17	25	Sandy clay loam
60-90	6.7	0.60	13.7	0.82	5.00	5.92	0.4	0.02	2.5	9	4	27	50	22	28	Sandy clay loam
90-120	6.8	0.50	12.6	0.54	4.69	5.92	0.3	0.02	3.0	10	6	23	62	16	22	Sandy clay loam

Table 2. Plum leaf macronutrient concentrations as influenced by maize proximity and pruning in 1986, 1987 and 1988.

Treatment	Macronutrient concentrations														
	N			P			K			Ca			Mg		
	1986	1987	1988	1986	1987	1988	1986	1987	1988	1986	1987	1988	1986	1987	1988
Maize proximity	----- % d w -----														
m	2.21	2.28	2.27	0.14	0.15	0.13	1.57	1.37	1.47	2.01	1.59	1.25	0.67	0.61	0.65
1 Unpruned	2.26	2.44	2.33	0.14	0.16	0.12	1.91	1.41	1.48	1.98	1.50	1.23	0.64	0.64	0.66
1 Pruned	1.03	2.15	2.13	0.12	0.13	0.10	1.86	1.23	1.47	1.85	1.51	1.25	0.59	0.65	0.62
2 Unpruned	2.22	2.40	2.13	0.13	0.15	0.11	1.85	1.39	1.60	2.06	1.66	1.24	0.67	0.68	0.65
2 Pruned															
Significance of main effects and interaction															
Pruning (Pr)	**			*				**			NS				NS
Maize proximity (Mp)	*			**				NS			NS				NS
Pr x Mp	NS			NS				NS			NS				NS
Year (Y)	*			**				**			**				NS
Y x Pr	NS			NS				NS			NS				NS
Y x Mp	NS			NS				NS			NS				NS
Y x Pr x Mp	NS			NS				*			NS				NS

NS, *, ** Nonsignificant or significant at P = 0.05 and 0.01, respectively.

Table 3. Plum leaf micronutrient concentration as influenced by maize proximity and pruning in 1986, 1987 and 1988.

Treatment		Micronutrient concentration								
Maize proximity	Pruning	Fe			Mn			Zn		
		1986	1987	1988	1986	1987	1988	1986	1987	1988
m		----- ppm -----								
1	Unpruned	476	404	294	66	52	56	17	14	23
1	Pruned	436	422	359	63	55	58	16	21	23
2	Unpruned	373	428	316	64	57	53	18	25	27
2	Pruned	417	439	397	65	62	57	22	19	24

Significance of main effects and interactions

Pruning (Pr)	NS	NS	NS
Maize proximity (Mp)	NS	NS	NS
Pr x Mp	NS	NS	NS
Year (Y)	*	*	NS
Y x Pr	NS	NS	NS
Y x Mp	NS	NS	NS
Y x Pr x Mp	NS	NS	NS

NS, * Nonsignificant or significant at $P = 0.05$, respectively.

years of higher crop load, leaf K concentration would be significantly decreased, in spite of moving away maize proximity and the medium to high levels of soil K (Table 1) throughout the profile (Doll and Lucas, 1973).

Leaf Ca (Table 2), Fe and Mn (Table 3) concentrations were significantly affected by year effect. Calcium level decreased almost linearly from 1986 to 1988. Iron level remained higher in the first two years and decreased in 1988, and *viceversa* for leaf Mn, which remained lower in the last two years and was higher in 1986. The soil test values (Table 1) indicate low levels of Ca and adequate levels of Fe and Mn (Doll and Lucas, 1973; Viets y Lindsay, 1973). It is accepted that mass flow could supply the crop's nutrient demand for all nutrients except N, P and K, and the amount of nutrient delivered to the plant root by mass flow process decreases as soil moisture decreases (Carlson, 1981). Since plum trees are growing under the multiple cropping system (Andrews and Kassam, 1976) in rainfed agriculture, the amount of precipitation in the previous season and the current precipitation up to leaf sampling date, are critical to have adequate mass flow and then adequate nutrient delivery by this process. Total precipitation in 1985, 1986, 1987, and 1988 was 836.5, 816.3, 644.8, and 759.9 mm, respectively, and actual precipitation up to leaf sampling date for the last three years was 211.4, 72.5, and 52.9 mm respectively. Hence, lower leaf Ca, Mn and Fe levels must be due to a lower moisture

content within the soil profile during the main growing period of plum trees.

This study indicates that nevertheless concentrations of most elements, corresponded to levels considered as adequate in the tree for normal growth, and can be improved by pruning and moving away maize proximity from row of trees; these practices alone are not able to meet N requirements. Then, in order to improve whole nutrition of plum trees growing in strip intercropping pattern under rainfed agriculture in Puebla Valley, is necessary to define a proper fertilization for fruit trees.

LITERATURE CITED

- Andrews, D.J. and A.H. Kassam. 1976. The importance of multiple cropping in increasing world food supplies, p. 1-10. In: R.I. Papendick, P.A. Sanchez and G.B. Triplett (eds.) Multiple Cropping. ASA Special Publication Number 27, Madison, Wisc.
- Bould, C. and R.M. Jarret. 1962. The effect of cover crops and N, P, K fertilizer on growth, crop yield and leaf nutrient status of young dessert apple trees. HortScience 37: 58-62.
- Bouyoucos, G.T. 1951. A calibration of the hydrometer method for making mechanical analysis of soils. Agron. J. 43: 434-438.
- Carlson, R.M. 1981. Mineral nutrient availability, p. 84-89. In: D.E. Ramos (ed.) Prune orchard management. Special publication 3269. Div. of Agric. Sci. Univ. of California.
- CIMMYT. 1974. The Puebla Project: Seven years of experience = 1967-1973. El Batán, México.
- Chandler, W.H. 1965. Deciduous orchards. 3rd. ed. Lea and Febiger, Philadelphia.

- Doll, E.C. and R.E. Lucas. 1973. Testing soils for potassium, calcium, and magnesium, p. 133-151. *In*: L.M. Walsh and J.D. Beaton (eds.). Soil Testing and Plant Analysis. Soil Sci. Soc. of Am., Madison, Wisc.
- La Rue, J.H. and M.H. Gerdt. 1976. Commercial plum growing in California. Leaflet 2458. Div. of Agric. Sci. Univ. of California.
- Tan, S. and G.D. Crabtree. 1990. Competition between perennial ryegrass sod and 'Chardonnay' wine grapes for mineral nutrients. *HortScience* 25: 533-535.
- Thomas, G.W. and D.E. Peaslee. 1973. Testing soils for phosphorus, p. 115-132. *In*: L.M. Walsh and J.D. Beaton (eds.). Soil Testing and Plant Analysis. Soil Sci. Soc. of Am., Madison, Wisc.
- Viets, F.G. and W.L. Lindsay. 1973. Testing soils for zinc, copper, manganese, and iron, p. 153-172. *In*: L.M. Walsh and D.J. Beaton (eds.). Soil Testing and Plant Analysis. Soil Sci. Soc. of Am., Madison, Wisc.
- Welker, W.V. and D.M. Gleen. 1985. The relationship of sod proximity to the growth and nutrient composition of newly planted peach trees. *HortScience* 20: 417-418.
- Welker, W.V. and D.M. Gleen. 1989. Sod proximity influences the growth and yield of young peach trees. *J. Am. Soc. Hort. Sci.* 114: 856-859.
- Welker, W.V. and D.M. Gleen. 1991. Growth response of young peach trees to distribution pattern of vegetation-free area. *HortScience*. 26: 1141-1142.
- Werner, G. 1978. Los suelos de la cuenca alta de Puebla-Tlaxcala y sus alrededores (comentarios a un mapa de suelos). Suplemento Comunicaciones. Proyecto Puebla-Tlaxcala VI. Fundación Alemana para la Investigación Científica. Puebla, México.

CUANTIFICACION DE BIOMASA Y ACTIVIDAD MICROBIANA EN SUELOS AGRICOLAS DEL ESTADO DE HIDALGO.

Quantification of the Biomass and the Microbial Activity in Agricultural Soils in Hidalgo State

Ana Ma. Estrada Barba¹ y Teodoro Gutiérrez Castrejón²

RESUMEN

La alteración de algunos suelos agrícolas mexicanos se ha incrementado en los últimos años por el proceso de contaminación que se origina debido al empleo de aguas residuales para fines de riego. El empleo de las mismas es cada vez mayor en México, por lo cual es importante conocer los efectos que causan, tanto en la biota del suelo como en la fertilidad de los diversos agroecosistemas donde se utilizan. En este trabajo se discute comparativamente la utilización de dos métodos para la evaluación de biomasa y actividad microbiana como parámetros asociados a la fertilidad del suelo y que pudiesen verse modificados de alguna manera, por el riego con aguas negras. En suelos procedentes del estado de Hidalgo, se determinó la biomasa y la actividad microbiana empleando la técnica de fumigación-incubación con cloroformo y el método de Winkler, respectivamente. Se estudiaron cuatro muestras de suelo regados con agua negra y uno regado con agua de manantial, al que se denominó control. Se emplearon dos sistemas: matraz Bartha-Pramer y frasco de un litro. Los resultados encontrados demostraron que son suelos salinos que presentan un intervalo amplio en la gama de pH detectados (1.2-4.8) y que los valores de biomasa microbiana en suelos regados con agua negra, se encuentran disminuidos (244 mg C g⁻¹ de suelo) en comparación con el control (869 mg C g⁻¹ de suelo). Esta diferencia detectada sugiere cambios importantes en los parámetros estudiados que pudiesen explicar algunas modificaciones en la fertilidad de estos suelos y plantea la necesidad de realizar mayores estudios para

conocer las posibles alteraciones que se presentan en estos agroecosistemas.

Palabras clave: Aguas negras, agroecosistemas, actividad respiratoria.

SUMMARY

The alteration of some Mexican agricultural soils has increased during the last years because of the pollution due to the use of residual waters for irrigation. The use of these waters is very common in Mexico and it is important to give information about the effects they cause not only on the biota but also on the fertility of different agroecosystems where they are used. This work discusses in a general form the utilization of two methods to evaluate the biomass and microbial activity as parameters associated to the fertility of the soil. In soils from Hidalgo State the biomass and microbial activity were determined using the fumigation-incubation technique with chloroform and the method of Winkler, respectively. Furthermore, four soil samples were studied which had been irrigated with waste waters and one soil sample irrigated with fresh water (named control). In this study two systems were used: Bartha-Pramer flask and bottle of one liter. The results showed that the soils are saline and that they present a spacious interval in the values of pH detected (1.2-4.8) and that the amounts of the microbial biomass in the soils irrigated with waste waters were diminished (244 mg C g⁻¹ soil) in comparison with the control (869 mg C g⁻¹ soil). This detected difference suggests important changes in the studied parameters that could explain some modifications in the fertility of these soils and it is necessary to do major studies to know the possible variations that may be present in these agroecosystems.

Index words: Waste waters, agroecosystems, respiratory activity.

¹Centro de Investigación y Estudios Avanzados I.P.N. Depto. de Biotecnología y Bioingeniería. Apartado Postal 14740, 07000 México, D.F.

²Escuela Nacional de Ciencias Biológicas I.P.N. Departamento de Microbiología. Apartado Postal 4-870, 06400 México, D.F.

INTRODUCCION

Las condiciones climáticas en México han provocado que el uso de los suelos agrícolas sea excesivo, originando serios problemas, principalmente en la reserva natural de los nutrimentos. Este deterioro se ve ampliado por el proceso de contaminación química que cada vez es más frecuente y en mayor grado.

La presencia de compuestos potencialmente tóxicos en las aguas negras usadas para el riego es preocupante por el impacto y el destino que puedan tener una vez que sean depositadas en los agroecosistemas. Se conoce poco acerca de como estas aguas pueden afectar la actividad microbiana, la cual es esencial para mantener la fertilidad del suelo.

La biomasa microbiana es una pequeña fracción lábil de la materia orgánica que contribuye a la nutrición de las plantas y que desde el punto de vista microbiológico constituye una población extensa que se encuentra en fase de latencia y tiene dos características importantes: (1) riqueza de especies, lo cual le permite una amplia respuesta de multiplicación en diferentes sustratos y (2) habilidad para sobrevivir en condiciones adversas (Nannipieri, 1984; Paul y Ladd, 1981). Estas dos características hacen necesario caracterizar, por un lado, la dinámica de transformación de los nutrimentos del ecosistema (cuantificando la biomasa para este fin) y, por otro, el estado biológico del ambiente descrito, debido a la actividad microbiana.

La determinación de la biomasa, así como la contribución de la población al metabolismo total en un sistema complejo como el suelo, ha sido difícil por los problemas metodológicos involucrados en la simplificación de un sistema, sin la modificación del mismo (Anderson y Domsh, 1975). La técnica para cuantificar biomasa microbiana como un todo que más se acerca a esta consideración es la fumigación con cloroformo. Esta técnica está basada en que el $\text{CO}_2\text{-C}$ liberado cuando se fumiga un suelo (eliminando el fumigante e incubado aeróbicamente) proviene de las células muertas de la biomasa original del suelo y degradada posteriormente por la población recolonizadora.

El objetivo de este trabajo fue implementar la técnica de fumigación-incubación en dos sistemas sencillos y de fácil manejo como son el matraz Bartha-Pramer (Bartha y Pramer, 1965), y el frasco de un litro

con el fin de medir biomasa-C microbiana y actividad respiratoria de cinco suelos agrícolas del estado de Hidalgo; cuatro de ellos regados con aguas negras y uno (el control) con agua de manantial, y comparar sus resultados determinados por ambas técnicas.

METODOLOGIA

Se tomaron muestras de los suelos en estudio en la época de invierno, en el Distrito de Riego 063 del estado de Hidalgo (Figura 1) establecidos en un recorrido de cinco puntos, cuatro de ellos regados con aguas negras y un control regado con agua de manantial (Suelo 5). Todos ellos provinieron de campos de cultivos de maíz. El sitio de muestreo se delimitó con una cuerda de 10 X 10 m y se tomaron cinco submuestras al azar a una profundidad de 25 centímetros. Para su caracterización posterior, los suelos en estudio se identificaron con la designación siguiente:

Suelo 1:	Presa Requena
Suelo 2:	Presa Endho
Suelo 3:	Tepetitlán
Suelo 4:	Tlahuelilpan
Suelo 5:	Granja Policultivo Tezontepec (suelo control)

Las submuestras se mezclaron y almacenaron en bolsas de polietileno a 4 °C hasta su uso. Para realizar el análisis físico-químico, una parte de cada una de las muestras se secó a temperatura ambiente (24 h) y se tamizó para obtener un tamaño de partícula de 0.45 milímetros. Para los ensayos de biomasa (biomasa-C), cada muestra se tamizó con una malla con una apertura de 2.0 milímetros.

Con el fin de disminuir los cambios de la actividad microbiana por efecto del procesamiento de la muestra, ésta se incubó a temperatura ambiente por 10 días (Lynch y Panting, 1980). El cloroformo usado como fumigante se purificó eliminando previamente el etanol contenido como estabilizador (Jenkinson y Powlson, 1976).

Fumigación con cloroformo

La fumigación se realizó en un desecador forrado internamente con papel filtro impregnado de CHCl_3 , con la muestra en un vaso de precipitado y en otro el

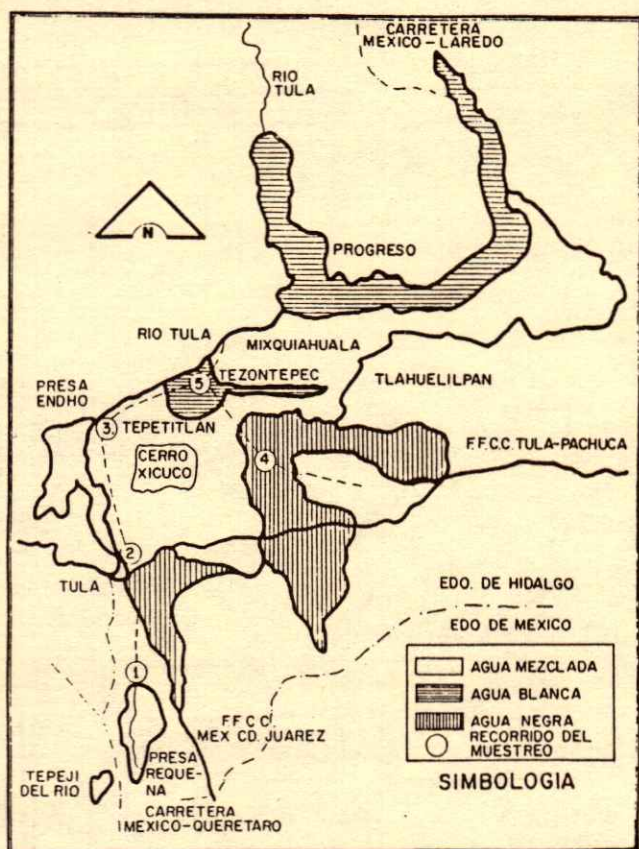


Figura 1. Localización de la zona de estudio.

CHCl₃ con un poco de antiespumante. Se aplicó vacío hasta la ebullición del CHCl₃ y se almacenó en obscuridad por 24 horas. Se eliminó el cloroformo al alto vacío y se inoculó posteriormente con suelo fresco (Jenkinson y Powlson, 1976b). Después de la inoculación, la humedad del suelo se ajustó a 55% de capacidad de retención de agua.

Sistemas Bartha-Pramer y Frasco de 1 Litro

En el matraz Bartha-Pramer se utilizaron 10 g de suelo fumigado o no fumigado y 10 mL de KOH 1 N en la trampa de CO₂ (Bartha-Pramer, 1965). En el frasco de 1 litro se colocaron en el interior un vaso de 100 mL con 40 g de suelo fumigado o no fumigado y un vaso de precipitado de 50 mL con 20 mL de KOH 1 N.

En ambos sistemas se colocó, en un recipiente pequeño, un volumen de 4 a 5 mL de agua para disminuir el efecto deshidratante del álcali.

Determinación de CO₂

El CO₂ producido por actividad respiratoria se cuantificó por el método de Winkler y la biomasa se calculó por la ecuación siguiente (Jenkinson y Powlson, 1976a):

$$B = \frac{x - y}{k}$$

Donde:

- B = Carbón asociado a biomasa (B-C) en mg = B-C/100 g
- x = CO₂ producido por suelos fumigados en un tiempo de 10 días
- y = CO₂ producido por suelos sin fumigar en un tiempo de incubación de 3, 10 y 20 días
- k = Fracción de biomasa mineralizada a CO₂ durante el tiempo de incubación seguido de la fumigación

RESULTADOS

El análisis físico-químico de los suelos estudiados indica que son salinos con contenidos bajos de fósforo y altos en potasio y sodio (Moreno, 1970). La relación C/N indica una condición adecuada de fertilidad. Con respecto al pH se observó una amplia gama de valores (Cuadro 1).

Actividad Respiratoria

En la técnica de fumigación-incubación con el sistema matraz Bartha-Pramer, se encontraron valores mayores de CO₂ en los suelos fumigados con respecto a los no fumigados (lo cual está de acuerdo con el fundamento de la técnica) a excepción de los suelos 4 (control) y 5, notándose el efecto contrario, lo que repercutió en el cálculo de biomasa (Figura 2).

También en el sistema de frasco de 1 litro, la actividad respiratoria siempre fue mayor en suelos fumigados. Es importante denotar que, en términos generales, las cantidades de CO₂ producido fueron mayores en el matraz Bartha-Pramer, lo que indicaría una probable mayor actividad microbiana. Por otro lado, los bajos valores de CO₂ producidos en frasco de 1 litro con respecto al sistema anterior implicaría un

Cuadro 1. Análisis físico-químico de suelos del estado de Hidalgo.

Variable	Suelo				
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
Materia orgánica (%)	6.0	3.3	1.2	4.8	1.9
Cap. retenc. agua (%)	69.1	50.6	46.4	74.4	46.7
Fósforo (ppm)	10.3	7.2	10.1	10.0	10.3
Sodio (ppm)	610.0	860.0	450.0	1120.0	650.0
Potasio (ppm)	420.0	220.0	1840.0	1720.0	650.0
C/N	14.6	17.8	6.0	9.9	5.1
pH	7.8	3.3	1.2	4.8	1.9
Textura	Franco migajón limoso	Migajón arenoso	Migajón arenoso	Franco	Migajón arenoso

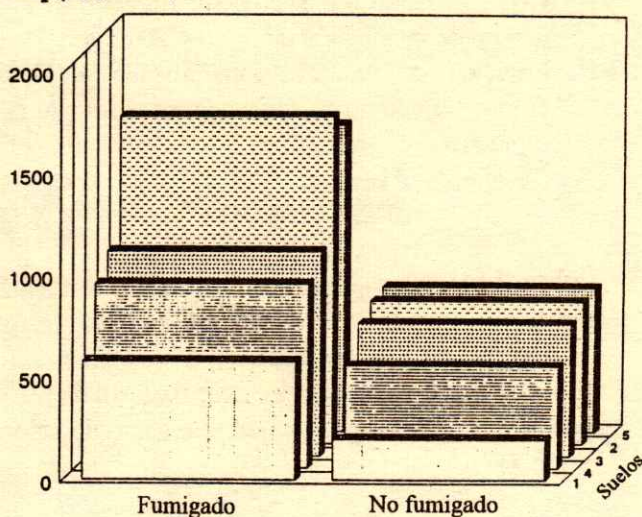
(1) Presa Requena

(3) Tepetitlán

(5) Granja Policultivo: Tezontepec (Suelo Control)

(2) Presa Endho

(4) Tlahuelilpan

CO₂ (μg g⁻¹suelo)Figura 2. Producción de CO₂ por actividad microbiana sistema frasco de 1 litro (incubación: 10 días).

efecto posible del área superficial disponible de la muestra de suelo delimitada por el vaso de precipitado.

Biomasa-C.

En la Figura 3 se observa que el valor de la Biomasa-C en el sistema Bartha-Pramer de los Suelos 4 y 5 dan valores de cero. Como se mencionó con anterioridad, el CO₂ producido fue menor en los suelos no fumigados. Sin embargo, en la biomasa cuantificada en este sistema con respecto al tiempo (Figura 4) se observa que el valor del suelo control se incrementa hasta el sexto día, disminuyendo drásticamente a los 10 días, lo cual podría probablemente implicar que

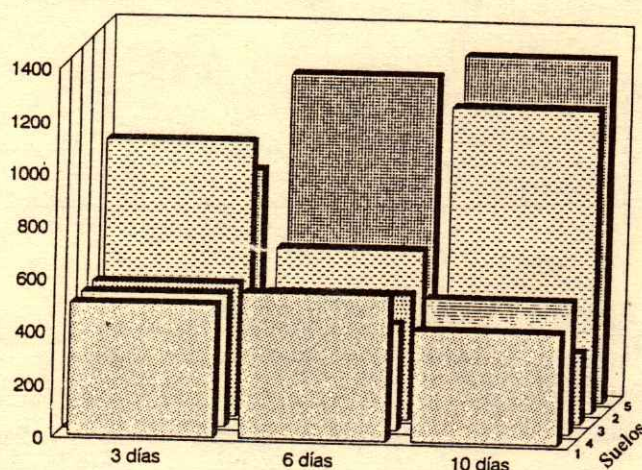
Biomasa
(μg C g⁻¹suelo)

Figura 3. Determinación de biomasa-C sistema frasco de 1 litro (diferentes tiempos de incubación).

la biomasa decayó por agotamiento del oxígeno en el sistema, no así en el Suelo 5, cuya biomasa fue disminuyendo con respecto al tiempo (Figura 5). Esto implicaría que la biomasa se encontró estresada y no se pudo recuperar después de la fumigación. Los resultados anteriores se confirmaron con el análisis comparativo de la determinación de Biomasa-C, señalada en la Figura 6.

DISCUSION Y CONCLUSIONES

El análisis físico-químico de los cinco suelos estudiados mostró que son de tipo salinos ya que presentaron contenidos altos de sodio y potasio (Moreno,

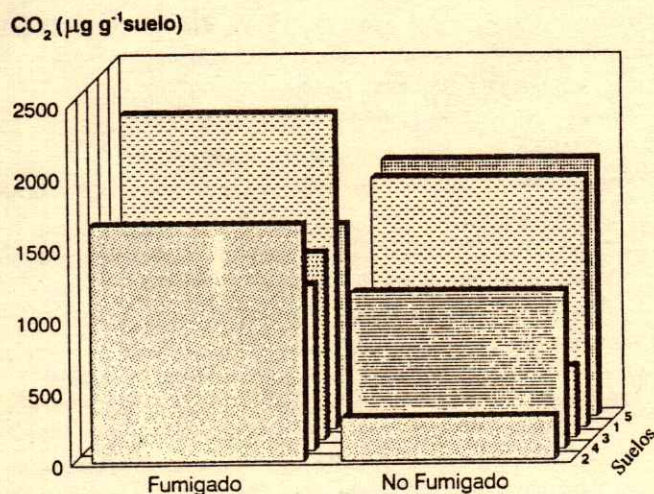


Figura 4. Producción del CO₂ por actividad microbiana sistema matraz Bartha-Pramer (incubación: 10 días).

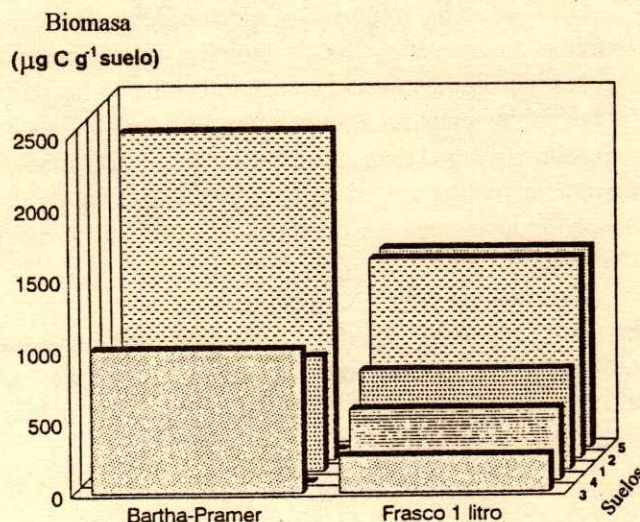


Figura 6. Determinación de biomasa-C sistemas matraz Bartha-Pramer y frasco de 1 litro (incubación: 10 días).

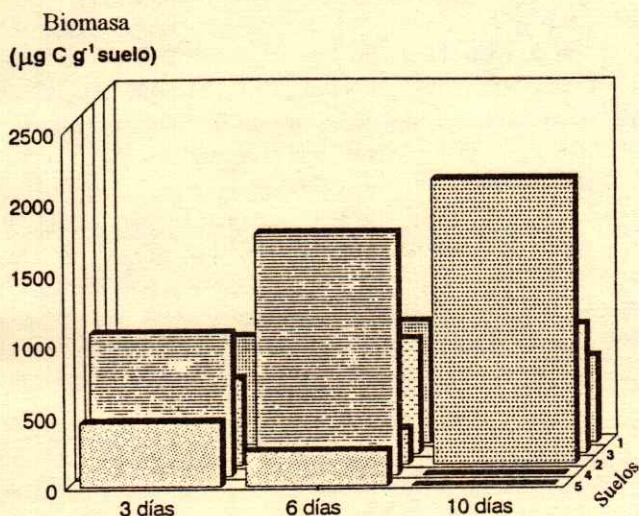


Figura 5. Determinación de biomasa-C sistema matraz Bartha-Pramer (diferentes tiempos de incubación).

1970), así como de fósforo, debido a que presentan una fuerte contaminación a causa de los fosfatos presentes en los detergentes sintéticos que son mezclados en el agua negra que se usa para riego (Guajardo, 1973).

En referencia al contenido de materia orgánica y las relaciones respectivas de carbono-nitrógeno detectados, se demostró que fueron ricos en estos parámetros, aunque si bien las otras características observadas limitan el cultivo de plantas de interés agrícola, como se ha venido desarrollando desde hace aproximadamente cincuenta años, en esta región del

estado de Hidalgo (Moreno, 1970; Tirado y Nava, 1978; 1979).

La técnica de fumigación-incubación demostró que la actividad microbiana determinada por la producción de CO₂ fue mayor en los suelos fumigados (Powlson y Brookes, 1987). Se encontró que el frasco de 1 litro presentó una mejor eficiencia que el matraz Bartha-Pramer, debido a que se presentaron valores más homogéneos, incluso a los 10 días de incubación que establece la técnica (Martens, 1985; Ocio y Brookes, 1990).

Los valores de biomasa microbiana encontrados fueron diferentes para los suelos estudiados; se detectó un incremento en los mismos, de aproximadamente dos veces en el suelo regado con agua de manantial (Figuras 2, 3 y 4). Estos datos coinciden con los reportados por Anderson y Domsh (1978) en suelos agrícolas que han sido alterados.

También, de acuerdo con el análisis detectado en la variación de los valores de biomasa microbiana para cada uno de los sitios estudiados, se sugiere la necesidad de evaluar este parámetro, no sólo puntualmente, sino además estacionalmente, para de esta manera utilizar a la biomasa microbiana como un parámetro indicador, que permita detectar alteraciones debidas a la introducción a los suelos de compuestos químicos contaminantes, tal como se demostró en este estudio (Powlson y Brookes, 1987).

Otro aspecto importante a considerar en estos estudios de cuantificación de biomasa microbiana, es que también deben de ser correlacionados con los datos de las poblaciones microbianas presentes en los suelos de estudio, ya que esta información permitiría obtener un conocimiento integral de la participación de los microorganismos en los procesos de fertilidad de suelo (Nannipieri, 1984).

La técnica de fumigación-incubación implementada en este estudio, para los dos sistemas utilizados, es reproducible y con la ventaja de efectuarse con equipo no muy sofisticado y de manejo sencillo.

LITERATURA CITADA

- Anderson, J.P.E. y K.H. Domsh. 1975. Measurement of bacterial and fungal contributions to respiration of selected agricultural and forest soils. *Canadian Journal of Microbiology* 21: 314-322.
- Anderson, J.P.E. y K.H. Domsh. 1978. A physiological method for the quantitative measurement of microbial biomass in soils. *Soil Biol. Biochem.* 10: 215-221.
- Bartha, R. y D. Pramer. 1965. Features of flask and method for measuring the persistence and biological effect of pesticides in soil. *Soil Science* 100: 68-70.
- Guajardo, J. 1973. Problemas de la contaminación de los suelos agrícolas debido al empleo de aguas negras. *Memorias de la I Reunión Nacional sobre Problemas de Contaminación Ambiental 1*: 165-170 (México).
- Jenkinson, D.S. y D.S. Powlson. 1976a. The effects of biocidal treatment on metabolism in soil. I. Fumigation with chloroform. *Soil Biol. Biochem.* 8: 167-177.
- Jenkinson, D.S. y D.S. Powlson. 1976b. The effects of biocidal treatment on metabolism in soil. V. A method for measuring soil biomass. *Soil Biol. Biochem.* 8: 209-213.
- Lynch, J.M. y L.M. Panting. 1980. Cultivation and the soil biomass. *Soil Biol. Biochem.* 12: 29-33.
- Lynch, J.M. y L.M. Panting. 1980. Variations in the size of the soil biomass. *Soil Biol. Biochem.* 12: 547-550.
- Martens, R. 1965. Limitations in the application of the fumigation technique for biomass. Estimations in amended soils. *Soil Biol. Biochem.* 17: 57-63.
- Moreno R., D. 1970. Manual de clasificación de suelos. Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos. INIA.
- Nannipieri, P. 1984. Microbial biomass and activity measurements in soil: Ecological significance. pp. 515-521. *In: Kluy M.S. and C.A. Ready. Lu Current Perspectives in Microbial Ecology.* Washington, D.C..
- Ocio, S.A. y P.C. Brookes. 1990. An evaluation of methods for measuring the microbial biomass in soils following recent additions of wheat straw and the characterization of the biomass that develops. *Soil Biol. Biochem.* 20: 2-10.
- Paul, E.A. y J.N. Ladd. 1981. *Soil Biochemistry.* pp. 416-459. Vol. 5. Marcel Dekker..
- Powlson, D.S. y P.C. Brookes. 1987. Measurement of soil microbial biomass provides an early indication of changes in total soil organic matter due to straw incorporation. *Soil Biol. Biochem.* 19: 159-164.
- Tirado, D. y S. Nava. 1978. Contaminación por petróleo en suelos agrícolas de Tula, Hidalgo. *Rev. Soc. Quim. Mex.* 22(4): 248.
- Tirado, D. y S. Nava. 1979. Contaminantes de las aguas del gran canal de desagüe del Valle de México que irrigan la zona húmeda del Valle del Mezquital y sus efectos en los suelos. *Rev. Soc. Quim. Mex.* 23(5): 261.

ESTUDIO COMPARATIVO DE LA EFICIENCIA DE USO Y ABSORCIÓN DE FOSFORO, A PARTIR DE FERTILIZANTES FOSFORICOS, POR GENOTIPOS CHILENOS DE TRIGO

Comparative Study about the Efficiency and P Absorption from Phosphate Fertilizers with Chilean Wheat Genotypes

F. Zapata¹, I. Pino², P. Baherle³ y A.M. Parada.²

RESUMEN

Se realizó un ensayo de invernadero tendiente a evaluar la eficiencia de superfosfato triple (SFT) y roca fosfórica de Bahía Inglesa (RBI) utilizando el método de dilución isotópica. Se determinaron los parámetros agronómicos como materia seca total (MST), P absorbido y eficiencia fisiológica de uso de P (EFU P). Paralelamente, se determinaron los parámetros isotópicos considerando el porcentaje de P en la planta proveniente del SFT (%PddF), el porcentaje de P en la planta proveniente del suelo (%PddS), el porcentaje de P en la planta proveniente de la RBI (%PddR) y la evaluación agronómica de los mismos (EA). Se encontraron diferencias significativas entre los genotipos de trigo para los parámetros evaluados, lo que se atribuye a las características genéticas inherentes a cada uno de ellos. La eficiencia de la RBI, en términos generales, fue baja comparativamente con el SFT y, de acuerdo con la clasificación de eficiencia, seis genotipos se clasificaron entre poco eficientes y no eficientes.

Palabras clave: Trigo, absorción de fósforo, roca fosfórica.

SUMMARY

A greenhouse trial was performed in order to evaluate the efficiency of triple superphosphate (TSP) and Bahia Inglesa phosphoric rock (RBI) using the

¹ Organismo Internacional de Energía Atómica. Lab. de Seibersdorf. A-1400 Viena, Austria.

² Comisión Chilena de Energía Nuclear. Casilla 188 D. Santiago, Chile.

³ Instituto de Investigaciones Agropecuarias. Casilla 432, Correo 3. Santiago, Chile.

Aceptado: Junio de 1996.

dilution isotopic method. Agronomic parameters, such as dry matter yield, absorbed P, and physiological efficiency of P were determined. At the same time, the isotopic parameters were determined considering the percentage of P in the plant derived from the TSP (%PddF), the percentage of P in the plant derived from the soil (%PddS), the percentage of P in the plant derived from RBI (%PddR), the fertilizers use efficiency and the agronomic evaluation. Significant differences were obtained between the wheat genotypes with the different parameters evaluated, this means that the genetic characteristics influenced the behavior of them. The efficiency of RBI was lower in comparison with TSP. According to efficiency, six genotypes were classified as less efficient and non-efficient.

Index words: Wheat, phosphate absorption, rock phosphate.

INTRODUCCION

Los suelos volcánicos de Chile son bastante deficientes en P disponible, por lo tanto, se necesita la aplicación de fertilizantes fosfatados, para obtener buenos rendimientos de los cultivos. Sin embargo, la disponibilidad del P aplicado como fertilizante, es bastante baja en estos suelos, debido a su rápida retención de P, por el alto contenido de alófana y otros coloides amorfos. Estas condiciones de suelo, unidas al alto costo de los fertilizantes solubles en agua, han llevado a desarrollar diversas alternativas para proveer los requerimientos de P de los cultivos (Jessop *et al.*, 1983; Pino y Casas, 1989a, b, 1990).

Los mejores resultados se obtienen mediante estrategias complementarias como son: a) el desarrollo de prácticas mejoradas de fertilización y b) la selección de genotipos del cultivo de interés con alta eficiencia para absorber y utilizar el fertilizante fosfatado aplicado.

Con respecto a la primera estrategia, se ha encontrado que algunas rocas fosfatadas son casi igualmente eficientes o mejores que los fertilizantes fosfatados solubles, en ciertos suelos ácidos y ciertos cultivos (Pino *et al.*, 1992, 1994; Zapata y Axmann, 1991).

Con base en lo anteriormente indicado, se planteó este estudio a fin de determinar la eficiencia en la absorción del P por dos fertilizantes fosfatados, en 19 genotipos de trigo, desarrollados en condiciones de invernadero y utilizando el trazador isotópico ^{32}P .

MATERIALES Y METODOS

El presente estudio se realizó en invernadero en la Estación Experimental La Platina del Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA), en la región central de Chile.

Según la metodología isotópica de ^{32}P , se utilizó superfosfato triple marcado con ^{32}P (SFT- ^{32}P), como fertilizante estándar (Tratamiento T0), con una actividad específica inicial de 0.5 mCi (18.5 MBq g P^{-1}), en una dosis de 500 mg de P kg^{-1} de suelo (Pino y Casas, 1989b, 1990; Pino *et al.*, 1992; Zapata y Axmann, 1989).

Además, se evaluó la capacidad de aprovisionamiento de P a partir de la roca fosfórica de Bahía Inglesa (RBI) aplicada en dosis de 1000 mg de P kg^{-1} de suelo (Tratamiento T1).

La roca fosfórica de Bahía Inglesa es un carbonato fluorapatita (Francolita) altamente reactiva y con un porcentaje de P_2O_5 de 18.4% y, con tenores de óxidos de hierro, aluminio y magnesio de 2.2, 5.7 y 1.1%, respectivamente (Besoain y Sepúlveda, 1992).

Se utilizó un suelo derivado de cenizas volcánicas, correspondiente a la serie Pemehue (Andisol), en macetas de un kilogramo de capacidad. Las características generales de este suelo se presentan en el Cuadro 1.

El experimento consistió de 38 tratamientos (19 genotipos por dos tratamientos de fertilizantes fosfatados), con tres repeticiones, lo que da un total de 114 unidades experimentales, en un diseño completamente al azar. En el Cuadro 2 se presentan los 19 genotipos seleccionados, con sus hábitos de crecimiento, tratamientos y dosis de P maceta^{-1} .

La cosecha se realizó 12 semanas después de la siembra y consistió en cortar toda la parte aérea de las plantas. En el material vegetal se determinó P total por

colorimetría (complejo amarillo de metavanadato) y la actividad de ^{32}P por efecto Cerenkov, utilizando un contador de Centelleo Líquido Beckman LS 5000 TD.

Los parámetros isotópicos se calcularon tal como lo describen Zapata y Axmann (1989). Se estudiaron las diferencias genotípicas en la absorción del P aplicado como SFT. Además, se realizó la evaluación de la eficiencia agronómica en función de la cantidad de P como RBI (kg de P como RBI) equivalente a 1 kg de P como SFT.

RESULTADOS Y DISCUSION

Diferencias Genotípicas en la Absorción de P Aplicado como Superfosfato Triple

En el Cuadro 3 se presentan los resultados de rendimiento en materia seca total (g planta^{-1}) y P total absorbido (mg P planta^{-1}), obtenidos en los tratamientos donde se aplicó el SFT marcado con ^{32}P . En dicho cuadro se observa una gran variabilidad genotípica en ambos parámetros. Así, se tienen diferencias del orden de 2.0 g y 3.7 mg entre los valores extremos de rendimiento en materia seca total y P total absorbido, respectivamente.

Además, se observa que los genotipos Harineros Primaverales (con excepción del genotipo Onda) y los Harineros Alternativos, presentan un rendimiento de MST superior al promedio general de los genotipos probados, mientras que los Harineros Invernales (con excepción del genotipo 14, Candela) y los Candeales tienen un rendimiento más bajo. Los genotipos con mayor producción de materia seca son: 7, Saeta; 10, Patagua; 9, Maqui; 2, Lilén; 5, Tullhuén y 3, Nobo. De ellos, cuatro corresponden a Harineros Primaverales y dos a Harineros Alternativos.

En relación con el P total absorbido se aprecia, en general, la misma tendencia que para el rendimiento de MST (Cuadro 3). Los genotipos Harineros Primaverales y Alternativos, presentan valores más altos de P total absorbido que los Harineros Invernales y Candeales. Los genotipos 10, Patagua; 13, Quillay; 11, Perquenco; 9, Maqui; 2, Lilén y 7, Saeta, son aquellos que absorben la mayor cantidad de P. Los Harineros Alternativos, en promedio, absorben más P que los Harineros Primaverales.

Se puede atribuir esto a que los genotipos invernales, especialmente, requieren de una menor temperatura para mostrar todo su potencial productivo,

Cuadro 1. Caracterización química del suelo Serie Pemehue.

Profundidad	N inor.	N incub.	P Olsen	pH H ₂ O 1/2.5	MO	Ca	Mg	Na	K
cm	----- ppm -----				%	----- me/100 g -----			
0 a 20	6	80	8.6	5.7	14.2	2.5	0.75	0.24	0.32
20 a 40	6	67	8.4	5.7	13.8	2.49	0.62	0.28	0.27

Profundidad	Suma bases	Al (KCl)	CIC efect.	Sat. Al	Acidez (KCl)
cm	----- me/100 g -----			%	me/100 g
0 a 20	3.81	0.03	3.88	0.8	0.03
20 a 40	3.66	0.02	3.69	0.5	0.03

lo cual habría afectado la producción de materia seca aérea y, en consecuencia, su desarrollo radicular, asociado estrechamente a una menor absorción de fósforo.

Si se examina la eficiencia fisiológica de uso de P (EFUP), en términos de g de MST mg P⁻¹ (Cuadro 3), se observa que los Harineros Primaverales son altamente eficientes (con excepción del genotipo 6, Onda; que produjo bajo rendimiento de MST). Los Harineros Alternativos e Invernales son, en general, medianamente eficientes y los Candeales poco eficientes.

Cuando se agrega el SFT marcado con ³²P, se observa que el P derivado del fertilizante (%PddF) en los genotipos probados, varía desde 64.4% hasta 74.7%, lo que confirma que la disponibilidad relativa del P del suelo es baja (Cuadro 3).

Se aplicó una dosis de 500 mg de P maceta⁻¹ de SFT, ya que en estudios realizados anteriormente se ha comprobado la alta capacidad de retención de P por el suelo utilizado (Pino, 1980; Pino y Casas, 1989b). Sin embargo, los valores obtenidos de %PddF en esta experiencia son altos. Así, los genotipos 6, 3, 9, 10, 2, y 4 son entre 63.9% y 53.8% más eficientes en utilizar el P del SFT que los genotipos 12, 18, 17 y 16, por lo tanto se podría reducir la dosis de P aplicada de 300 a 350 mg de P maceta⁻¹.

De esta forma, en cuanto a grupo, se observa que los Harineros Primaverales son altamente eficientes en absorber el P del SFT, los Harineros Alternativos constituyen un grupo intermedio (los genotipos 8, 9 y 10 son altamente eficientes mientras que los genotipos 11, 12 y 13 son medianamente eficientes), los Harineros Invernales son medianamente eficientes y los Candeales son relativamente poco eficientes.

En el Cuadro 3 se presenta, además, la relación inversa entre el %PddF y el %PddS. Los valores de %PddS varían entre 25.3% y 35.6%. Asimismo, los

valores A_s (cantidad de P del suelo disponible en mg de P maceta⁻¹) confirman la dependencia relativa de los Harineros Invernales y Candeales del P nativo del suelo.

En experimentos posteriores (sin material radiactivo), a fin de estudiar la capacidad de respuesta al P aplicado como fertilizante, convendría utilizar un control sin aplicación de P. Además, examinar los posibles mecanismos que afectan la absorción de P, tal como diferencias en las características de las raíces (largo, área específica, grado de finura, pelos radicales, volumen, etc.) y, en la utilización interna de P (diferencias en translocación a los órganos productivos). Por supuesto, este tipo de estudios detallados pueden realizarse sólo con un número limitado de genotipos.

Diferencias Genotípicas en Absorción de P a Partir de Roca Fosfórica de Bahía Inglesa (RBI)

En el Cuadro 4 se observa en muchos genotipos una disminución en su respuesta con respecto al tratamiento solo con SFT (T0), tanto en la producción de materia seca total como en la cantidad de P absorbido. Estos efectos adversos, producto de las elevadas dosis de aplicación de P, pueden deberse a toxicidad o interacción por diversos elementos químicos presentes en la roca fosfórica, tales como Fe, Al, F, Cl y Ca (Besoain y Sepúlveda, 1992).

En estos tratamientos, los genotipos más productivos asociados a la fertilización con RBI fueron: 5, Talhuén; 10, Patagua; 13, Quillay y 18, Chonta; mientras que los que presentaron mayor absorción de P fueron: 19, Lican; 18, Chonta; 10, Patagua; 13, Quillay y 5, Talhuén. En general, los genotipos Harineros Alternativos y Candeales presentaron los mejores resultados, los Harineros

Cuadro 2. Genotipos de trigo, hábitos de crecimiento y tratamientos.

Genotipo	Hábito de crecimiento	Tratamientos	SFT RBI	
			-- mg P kg ⁻¹ --	
1 Cisne	Primaveral	T0	500	
		T1	500	1000
2 Lilén	Primaveral	T0	500	
		T1	500	1000
3 Nobo	Primaveral	T0	500	
		T1	500	1000
4 Reihue	Primaveral	T0	500	
		T1	500	1000
5 Talhuén	Primaveral	T0	500	
		T1	500	1000
6 Onda	Primaveral	T0	500	
		T1	500	1000
7 Saeta	Primaveral	T0	500	
		T1	500	1000
8 Canelo	Alternativo	T0	500	
		T1	500	1000
9 Maqui	Alternativo	T0	500	
		T1	500	1000
10 Patagua	Alternativo	T0	500	
		T1	500	1000
11 Perquenco	Alternativo	T0	500	
		T1	500	1000
12 Peumo	Alternativo	T0	500	
		T1	500	1000
13 Quillay	Alternativo	T0	500	
		T1	500	1000
14 Candela	Invernal	T0	500	
		T1	500	1000
15 Laurel	Invernal	T0	500	
		T1	500	1000
16 Lautaro	Invernal	T0	500	
		T1	500	1000
17 Chagual	Candéal	T0	500	
		T1	500	1000
18 Chonta	Candéal	T0	500	
		T1	500	1000
19 Lican	Candéal	T0	500	
		T1	500	1000

T0/SFT-³²P = superfosfato triple marcado.

T1/SFT-³²P = superfosfato triple + roca fosfórica de Bahía Inglesa.

Invernales los resultados más bajos y los Harineros Primaverales un comportamiento intermedio.

Con respecto a la utilización del P derivado de la roca fosfórica de Bahía Inglesa (Cuadro 4), es posible visualizar una gran variabilidad genotípica en los valores de %PddR, que fluctúan entre 9.7% y 42.43%.

Los genotipos pueden clasificarse según su capacidad de absorber P proveniente de la roca fosfórica (%PddR): 2, Lilén; 1, Cisne; 3, Nobo; 8,

Cuadro 3. Valores de materia seca total (MST), P absorbido, eficiencia fisiológica de uso de P (EFUP), % P en la planta derivado del fertilizante (Pddf), % P en la planta derivado del suelo (Pdds). Tratamiento T0.

Genotipo	MST	P absorbido	EFUP	Pddf	Pdds
	g	mg	g MST/ mg P ⁻¹	----- % -----	
1 Cisne	2.57b	6.35bc	0.405b	73.00c	27.00b
2 Lilén	2.72bc	6.65bc	0.409b	73.70c	26.30b
3 Nobo	2.59b	5.80b	0.447bc	74.40d	25.60a
4 Reihue	2.40b	5.95b	0.403b	73.70c	26.30b
5 Talhuén	2.61b	6.00bc	0.434b	69.90b	30.10c
6 Onda	1.60a	4.75ab	0.337a	74.70d	25.30a
7 Saeta	3.36c	6.55bc	0.513c	71.30b	28.70c
8 Canelo	2.57b	5.80b	0.443bc	73.40c	26.60b
9 Maqui	2.76bc	6.70bc	0.412b	74.20d	25.80a
10 Patagua	2.83bc	7.60c	0.372ab	74.10d	25.90a
11 Perquenco	2.22ab	6.75bc	0.328a	68.80ab	31.20cd
12 Peumo	2.04ab	4.70ab	0.434bc	64.50a	35.50d
13 Quillay	2.37ab	7.10c	0.333a	66.60ab	34.40cd
14 Candela	2.32ab	6.00bc	0.387ab	67.50ab	32.50cd
15 Laurel	2.02ab	5.15b	0.391ab	68.30ab	31.70cd
16 Lautaro	1.42a	3.95a	0.359a	64.40a	35.60d
17 Chagual	2.03ab	5.85b	0.346a	64.50a	35.50d
18 Chonta	1.82a	4.75ab	0.383ab	64.50a	35.50d
19 Lican	1.38a	4.25ab	0.324a	65.60a	34.40d

Cuadro 4. Materia seca total (MST), P absorbido, eficiencia fisiológica de uso de P (EFUP), % P en la planta proveniente del suelo (Pdds), % P en la planta proveniente de la RBI (PddR). Tratamiento T1.

Genotipo	MST	P absorbido	EFUP	PddR
	g	mg	g MST/ mg P ⁻¹	%
1 Cisne	1.91b	5.25c	0.36ab	38.05e
2 Lilén	2.14bc	6.15cd	0.35a	42.43ef
3 Nobo	1.91b	6.00cd	0.32a	30.46e
4 Reihue	1.82ab	5.25c	0.35a	22.73d
5 Talhuén	2.51c	6.45d	0.39b	15.88c
6 Onda	1.03a	2.80a	0.37ab	27.84de
7 Saeta	2.13bc	5.60c	0.38b	19.60c
8 Canelo	1.93b	5.00c	0.39b	28.25de
9 Maqui	2.24bc	6.00cd	0.37ab	23.66d
10 Patagua	2.49c	6.65d	0.37ab	25.91de
11 Perquenco	1.68ab	5.75c	0.29a	9.70a
12 Peumo	2.11bc	5.35c	0.39b	23.76d
13 Quillay	2.32c	6.55a	0.35a	19.22d
14 Candela	1.96b	5.50c	0.36ab	17.11c
15 Laurel	1.64ab	4.45b	0.37ab	20.02d
16 Lautaro	1.45a	4.05b	0.36ab	25.76de
17 Chagual	1.46a	5.15c	0.28a	12.81b
18 Chonta	2.31c	6.85d	0.34a	25.40de
19 Lican	2.18bc	7.10de	0.31a	21.13d

Canelo; 6, Onda y 10, Patagua, en altamente eficientes; 5, Talhuén; 17, Chagual y 11, Perquenco, en poco eficientes y el resto de eficiencia intermedia. La mayor parte de los altamente eficientes son Harineros Primaverales (Cuadro 4).

Cuadro 5. Categorías de eficiencia agronómica de los diferentes genotipos estudiados en función de los kilogramos de P como RBI equivalentes a 1 kg de P como SFT.

Clases de eficiencia	kg P kg P ⁻¹	Genotipos
I Muy eficientes	<2.5	1,2
II Eficientes	2.6 a 5.0	3,4,6,8,9,10,12,16,18,19
III Poco eficientes	5.1 a 7.5	5,7,13,14,15
IV No eficientes	>7.5	11,17

Estas diferencias, podrían atribuirse al efecto de la rizósfera en solubilizar y utilizar más P de la roca fosfórica aplicada (Gabelman y Gerloff, 1983; Jovic y Saric, 1983). Estudios más detallados podrían aclarar los mecanismos envueltos, incluyendo la acción de microorganismos, por ejemplo, solubilizadores de ciertas fracciones de P.

Por último, a fin de apreciar de mejor manera las diferencias genotípicas, se procedió a realizar la evaluación de la eficiencia agronómica de los genotipos probados, en función de los kg de P como RBI equivalentes a 1 kg de P como SFT.

Según este parámetro, se observa una gran variabilidad genotípica, ya que para el genotipo 2, Lilén (altamente eficiente), por cada kg de P como SFT es necesario agregar 2.1 kg de P como RBI, en cambio, para el genotipo 11, Perquenco (poco eficiente), se requiere aplicar 12.8 kg de P como RBI por cada kg P como SFT. En la Figura 1 se muestra dicha equivalencia para los diferentes genotipos agrupados según su tipo y hábito de crecimiento.

Sobre la base de los resultados obtenidos, en la evaluación agronómica de los genotipos probados, se establecen cuatro categorías o clases de eficiencia (Cuadro 5): desde altamente eficientes, que requieren poca cantidad de P como RBI por cada kg de P como SFT, hasta poco eficientes, que necesitan grandes cantidades.

CONCLUSIONES

Mediante el uso de técnicas isotópicas con ³²P, se han demostrado diferencias genotípicas de 19 genotipos de trigo, en su capacidad para absorber el P de SFT. También, se encontró alta variabilidad genotípica en la habilidad de absorber P de la roca fosfórica de Bahía Inglesa. Este tipo de estudio constituye una evaluación preliminar que debe ser continuada mediante estudios detallados de los factores de la planta que determinan dichas diferencias.

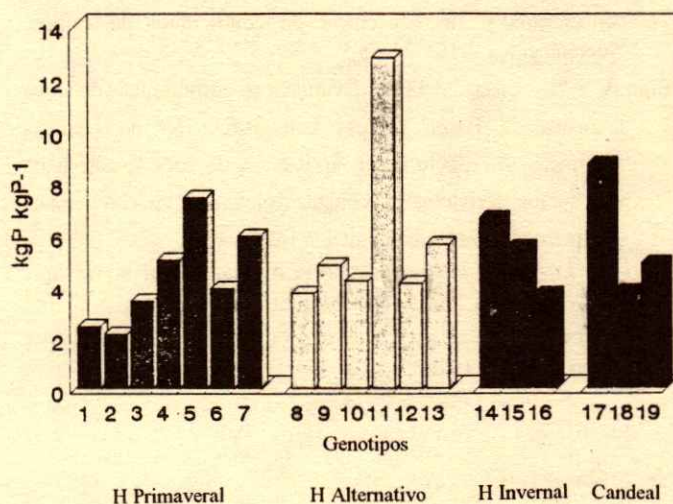


Figura 1. Eficiencia agronómica en función de kilogramos de P como RBI equivalente a 1 kg de P como SFT.

Esta información es esencial para ser utilizada en un programa de mejoramiento genético de trigo, con el objeto de incrementar la eficiencia de uso del fósforo en condiciones de suelo deficiente en este elemento, como son los suelos volcánicos de Chile.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece la colaboración del Organismo Internacional de Energía Atómica.

LITERATURA CITADA

- Besoain, E. y G. Sepúlveda. 1992. Caracterización de las rocas fosfóricas chilenas. In: 1° Seminario Nacional Sobre Uso de Rocas Fosfóricas en Agricultura. 18 al 20 de Nov. 1992. Temuco-Chile.
- Gabelman, W.H. y G.C. Gerloff. 1983. Genetic variability in root systems associated with nutrient acquisition and use. *Hortscience* 2: 971-974.
- Jessop, R.S., G.P. Jones y G.J. Blair. 1983. Performance of 22 wheat varieties under low and high phosphorus conditions and applications for the selection of P-efficient varieties. pp. 445-454. In: International Congress on Phosphorus Compounds. Brussels, October 4-6. Bélgica.
- Jovic, B. and M.R. Saric. 1983. Efficiency of NPK and N use by corn, sunflower and sugarbeet for synthesis of organic matter. pp. 123-127. In: Saric, M.R. and B.C. Loughman (eds.) Genetic aspects of plant nutrition. Martinus Nijhoff.
- Pino, I. 1980. Studies in the efficient use of P-fertilizer in Chile. Final Report Technical Cooperation. pp. 72. Santiago. Chile.
- Pino, I. y L. Casas. 1989a. Evaluación agronómica de roca fosfórica de Bahía Inglesa con utilización de técnicas isotópicas. I. Efecto de la aplicación de roca fosfórica

- concentrada y sin concentrar en condiciones de campo. *Nucleotécnica* 9(16): 31-36.
- Pino I. y L. Casas. 1989b. Evaluación agronómica de roca fosfórica de Bahía Inglesa con utilización de técnicas isotópicas. II. Efecto de la aplicación de roca fosfórica en tres suelos derivados de cenizas volcánicas en condiciones de invernadero. *Nucleotécnica* 9(16):37-40
- Pino I. y L. Casas. 1990. Phosphoric rock appraisal in volcanic ash soils of Chile. 14th International Congress of Soil Science. pp. 122-125. *In*: Vol. IV. Commission IV. Kyoto, Japan. August, 1990.
- Pino I., M. Buneder y A.M. Parada. 1992. Técnicas isotópicas en evaluación de roca fosfórica en condiciones de invernadero. *In*: Primer Seminario Nacional de Roca Fosfórica. Temuco, Chile.
- Pino I., A. Montenegro, M. Buneder y N. Rodríguez. 1994. Evaluación agronómica de la fosforita de Bahía Inglesa mediante técnicas isotópicas. *Nucleotécnica* 14(26): 53-57.
- Zapata, F. y H. Axmann. 1989. Use of radiotracers (³²P or ³³P) for the agronomic evaluation rock phosphate sources. IAEA/FAO. 42 pp.
- Zapata, F. y H. Axmann. 1991. Agronomic evaluation test of rock phosphate by means of radioisotope techniques. *Pedologie*, XLI-3: 291-301.

PRODUCCION DE MELON EN SUELOS MEJORADOS CON LEGUMINOSAS, SORGO FORRAJERO Y RESIDUOS DE MALEZAS

Yield of Cantaloupe in Soil Amended with Legume, Forage Sorghum, and Weed Residues

Octavio Pérez-Zamora¹

RESUMEN

El desconocimiento del estado de la fertilidad del suelo es un factor clave en la producción de melón cantaloupe (*Cucumis melo* L.) en Colima. El objetivo del presente trabajo fue determinar el efecto de mejoradores del suelo, en la forma de abonos verdes, incorporados al suelo sobre la producción de melón en un suelo calcáreo. Durante los veranos de 1992 y 1993, se establecieron sorgo forrajero (SF), dos leguminosas, *Crotalaria intermedia* (CR) y *Clitoria ternatea* (CL), maleza (MA) espontánea y un lote libre de maleza (testigo limpio) en un suelo franco, mezcla aluvial, isohipotérmico, Ortoustalf típico, de Tecoman, Colima. En el invierno de 1994 se estableció melón, cultivar Laguna en suelo desnudo (SP) y suelo cubierto con plástico (CP) con riego por goteo. Cada tratamiento se repitió cuatro veces; el arreglo experimental fue parcelas divididas, donde se cubrieron las parcelas grandes con plástico (CP) y suelo desnudo (SP) y los abonos verdes las parcelas chicas. La respuesta a los tratamientos se estimó de 13 cortes efectuados; se cosechó toda la parcela útil (20 m²), y se clasificó a los frutos por tamaño de acuerdo con normas comerciales. La combinación de abonos verdes y uso de plásticos duplicó la producción con respecto a SP (955 y 1545 cajas ha⁻¹ de fruta de exportación y total, respectivamente). El rendimiento obtenido (1980 cajas de exportación) en CR, en ambos CP y SP, fue estadísticamente ($P = 0.01$) superior, seguido por SF (1775), CL (1405) y MAL (890) y T (860). El efecto de CR + CP fue estadísticamente ($P = 0.01$) mayor en producción (3408 y 2414 cajas ha⁻¹ total de exportación) que en CL + CP, MAL + CP. Los rendimientos más bajos se tuvieron con MAL + SP (599 cajas) y T + SP (566 cajas de exportación).

¹ Campo Experimental Tecoman. Apartado Postal 104, 28000 Colima, Colima.

Aceptado: Febrero de 1996.

Además, se observó un incremento (1%) en el contenido de materia orgánica del suelo.

Palabras clave: *Mejoradores del suelo, leguminosas, residuos de maleza, calidad de fruta.*

SUMMARY

Lack of information on the fertility status of cantaloupe (*Cucumis melo* L.) growing areas of Tecoman, Colima, Mexico, is a key factor to determine appropriate fertilization practices. The objective of this work was to determine whether soil amendments in the form of green manures, previously cropped and incorporated, could improve the fertility of soils. During summer 1992 and 1993 forage sorghum (FS), two legumes, *Crotalaria intermedia* (CR) and *Clitoria ternatea* (CL), weedy fallow (WF) non disked, and a disked land, always weed-free fallow (WWF) as control were grown in the Tecoman Agricultural Experiment Station, on a loamy mixed isohyperthermic Typic Ortoustalf soil. In the winter, cantaloupe was grown with drip irrigation in a bare soil (BS) and in a soil covered with polyethylene plastic mulch (PC). Taken data included cantaloupe harvested 13 times, sorted into marketable and culled grades fruit. The combination of green manure additions and PC mulching (means of all green manure and WWF) resulted in higher (twice-fold) yields of cantaloupe melon with respect to BS (955 and 1545 cartons ha⁻¹ of export and total fruit, respectively). The average (for PC and BS) yield (cartons of quality export fruit) was significantly ($P = 0.01$) higher for CR (1908), followed by FS (1775), CL (1405), WF (890) and the last by WWF (960). The effect of CR + PC mulching was significantly ($P = 0.01$) higher for both, total and export yields (3408 and 2414 cartons ha⁻¹), and CR + BS effect on yield was the same as those of PC + CL, PC + WF, PC + WWF ($P = 0.05$). The lowest yield was obtained with BS + WF and BS + WWF, with 599 and 566 cartons ha⁻¹ of export fruit

cantaloupe. In addition to yield benefits, an increase in organic (1%) matter was observed after two years in the plot receiving green manure with respect to control (WWF).

Index words: Soil amendment, legume residue, weed residue, fruit quality.

INTRODUCCION

Tecomán, en la costa oeste del Océano Pacífico de México, produce melón cantaloupe en 3000 ha durante el invierno (Orozco *et al.*, 1994). De esta superficie, dos terceras partes son deficientes en fósforo (P). Aun en suelos fértiles, la concentración de P en la solución del suelo rara vez es mayor que 10 μmol (Pérez-Zamora *et al.*, 1994). Sin embargo, a pesar de que el cultivo requiere un suplemento de P, se ha prestado poca atención a su corrección. Por otro lado, las recomendaciones de fertilización se basan en resultados extrapolados de otras regiones meloneras del país y del extranjero. Bajo estas circunstancias, aplicaciones por debajo del nivel requerido, tardías o desuniformes por fallas de calibración, se expresan en condiciones subóptimas de crecimiento, abatimiento en producción de 50 a 70% y pérdida de calidad de fruto cosechado de melón (Pérez-Zamora *et al.*, 1994).

La cantidad de P en la solución del suelo es sólo uno de los componentes que determinan la calidad del suelo para cubrir las necesidades de este elemento por el cultivo del melón; para maximizar la producción, la fase sólida del suelo debe tener suficiente P en forma lábil. Esto mantiene concentraciones que satisfacen las necesidades de P durante las etapas de máxima extracción del nutrimento. Esta cantidad es el factor de capacidad, es el P retenido en condiciones específicas de intensidad (Fox y Kamprath, 1970). Su magnitud está en función de la naturaleza de los materiales que contienen fosfatos en el suelo. Las reacciones que tomen lugar determinarán el P en la solución del suelo durante los períodos de máxima extracción, cuando la planta tiene altas tasas de crecimiento. Estas reacciones deben considerarse en la región melonera de Tecomán, debido a la alta magnitud de la fijación de P en los suelos calcáreos utilizados para la producción de hortalizas (Pérez-Zamora *et al.*, 1994).

El uso de abonos verdes como mejoradores del suelo y como fuente de nutrimentos, así como el de otras prácticas agronómicas, incluyendo la aplicación

de estiércoles y rotaciones de cultivo, se han utilizado ampliamente desde hace muchos años (Bhella y Wilcox, 1986; Kelly, 1990; Loy y Wells, 1975). Los abonos verdes, sembrados durante el período de descanso e incorporados antes de la siembra de melón, han mostrado afectar la nutrición de las plantas, la composición y competencia de malezas, así como la producción del melón (Doll, 1962; Peters y Stritzke, 1970; Pérez-Zamora *et al.*, 1994). Sin embargo, a pesar de que son fuente de nutrimentos y afectan la composición de malezas durante el ciclo de crecimiento de melón, existe una profunda preocupación sobre su efecto en producción y calidad de la fruta cuando el P es un factor limitativo de la nutrición de dicho cultivo (Pérez-Zamora *et al.*, 1994). Esto último es muy importante en la región dado que los melones de Colima son una fuente importante de ingresos para los productores del estado, debido a la generación de jornales y al ingreso de divisas obtenidos con la exportación de la fruta. En estas condiciones sería importante si la producción del cultivo se lograra incrementar mediante la utilización de mejoradores del suelo, por lo que el objetivo de este trabajo fue evaluar la influencia de la incorporación de abonos verdes en un suelo caracterizado por contenidos pobres de P disponible para las plantas.

MATERIALES Y METODOS

El experimento se condujo en el Campo Experimental Tecomán en Colima, México (18° 50' N, 108° 48' O, 30 m sobre el nivel de mar). El suelo en el sitio experimental pertenece a la serie Caleras franco arcillosa (franco, mezcla aluvial, isohipertérmico Orthostalfs típico). El terreno es casi plano (0 a 1.0%) con una profundidad de 0.75 m. La temperatura media anual es de 26.0 °C y la región se encuentra libre del riesgo de heladas los 365 días del año (Pérez-Zamora, 1993). El pH promedio del suelo es de 7.9 y la concentración de elementos nutritivos (mg kg^{-1}) es como se indica a continuación: P=4.5, K=345, Ca=4800, Mg=200, Na=35, Fe=2.7, Zn=0.4, Mn=7.0, y Cu=1.3. Los métodos de extracción y análisis de elementos son procedimientos de rutina apropiados para los suelos alcalinos.

Los abonos verdes se sembraron a fines de junio durante los veranos de 1992 y 1993; las leguminosas utilizadas fueron *Clitoria ternatea* (CL) y *Crotalaria intermedia* (CR), las otras dos especies utilizadas

fueron sorgo forrajero Fortuna (SF), variedad comercial de polinización libre, y una parcela en la que se permitió el crecimiento natural de las hierbas (MA) durante el verano; también se incluyó un tratamiento testigo (T), el cual se mantuvo libre de malezas durante toda la temporada de descanso; esto se efectuó mediante tres pasos de rastra en cada uno de los veranos. Durante el período de crecimiento de los abonos verdes no se aplicaron fertilizantes, insecticidas ni herbicidas; el suministro de agua fue la lluvia ocurrida durante el período de crecimiento de los abonos verdes. Los abonos se incorporaron a 61 y 93 días después de la siembra (dds) en 1992 y 1993, respectivamente; la incorporación de los abonos se efectuó con dos pasos de arado de disco y un paso de rastra, 35 días después del último paso de arado.

En el invierno de 1993 se condujo un ensayo preliminar para determinar la respuesta del melón al P de campo. La fijación de P se determinó por medio de isotermas de adsorción. El cultivar melón utilizado fue el híbrido Laredo. Para las isotermas de adsorción se utilizaron muestras de suelo (2.0 g), las cuales se mezclaron con soluciones de P de diversa concentración como lo describen Fox y Kamprath (1970). De los datos obtenidos se encontró que la solución de Ca (H_2PO_4)₂ que contenía 45 mg de kg^{-1} P (base suelo) mantenía una concentración de 0.2 $\mu g mL^{-1}$.

El 28 de enero de 1994 se sembró directamente el melón *cantaloupe* cv. Laguna a intervalos de 0.2 m entre plantas en el centro de camas de 1.78 m de ancho. Todas las parcelas recibieron como fertilización total 250, 150 y 250 kg de N, P y K, respectivamente. Como fuente de fertilizantes se utilizó nitrato de amonio, urea, nitrato de potasio y superfosfato de calcio triple. En el momento de la siembra se aplicaron 60, 100 y 80% de N, P y K, respectivamente; el remanente de N y K se aplicó con los riegos suministrados al cultivo; el período de aplicación fue desde que las plantas emitieron las primeras guías hasta que se observó el primer fruto maduro. Esto requirió 10 aplicaciones de fertilizantes en el agua de riego. El melón se cultivó en condiciones de riego, dado que la probabilidad de lluvias durante febrero y marzo es baja (Pérez-Zamora, 1993). El sistema de riego fue por goteo; las mangueras se colocaron en el centro de la cama, la distancia entre emisores fue de 0.5 m y la tasa de goteo fue de 2.3 $L h^{-1}$ a 0.5 MPa. Los riegos se dieron cuando el potencial de humedad del suelo llegó a 0.25 kPa; la cantidad de agua

aplicada fue de 358.9 mm; la evapotranspiración (ETP) para el período de crecimiento fue de 315.9 milímetros. El tamaño de las parcelas experimentales fue de 20 m de largo. El arreglo experimental fue de parcelas divididas en bloques al azar, donde cada tratamiento se repitió cuatro veces. Las parcelas grandes consistieron en suelo desnudo (SP) y suelo cubierto con plástico de polietileno (CP), los abonos verdes fueron las parcelas chicas.

Antes del establecimiento de los abonos verdes, y después de la cosecha de melón, se determinó el contenido de materia orgánica del suelo en cada una de las repeticiones. También se determinó la concentración de NO_3 en peciols de plantas de melón (diez plantas por repetición) a 55 dds (etapa de maduración de frutos): la extracción se efectuó en agua destilada y la determinación por colorimetría.

Las plagas, malezas y enfermedades se controlaron por prácticas comerciales estándares. Para favorecer la polinización se colocaron cinco cajas de colmena en los alrededores del experimento, cuando aparecieron las flores perfectas en el cultivo (28 dds). Para determinar el efecto de áfidos y mosquita blanca sobre el crecimiento de las plantas, se colocaron trampas de plástico amarillo (0.28 x 0.22 x 0.12 metros). Las trampas contenían una mezcla de agua y detergente y se colocaron en la parte central de la hilera en cada una de las parcelas principales. El número de áfidos y mosquitas blancas (*Bemisia tabaci* Genn) se registró dos veces a la semana. Además, para observar el efecto de plantas infectadas con virus, se condujo un muestreo en diez repeticiones, donde cada repetición consistió de 100 plantas, en ambos SP y CP.

El rendimiento de cultivo se midió cosechando toda la fruta en cada uno de los tratamientos, separando dichos frutos por tamaño y calidad de mercado de acuerdo con las regulaciones estándares que rigen en el mercado internacional. Los tamaños de fruta registrados fueron 6, 9, 12, 15, 18, 23 y 30 frutos de melón/caja; cada caja pesó de 18.0 a 18.5 kg en promedio.

RESULTADOS Y DISCUSION

Abonos Verdes y Composición de la Maleza

Sorgo y *Crotalaria* produjeron significativamente más biomasa que *Clitoria* y maleza en ambos veranos, 1992 y 1993 (Cuadro 1). El crecimiento de malezas

Cuadro 1. Producción de biomasa (peso base seco) y número de plantas.

Abono verde	1992	1993	1992	1993
	- - $\mu\text{g ha}^{-1}$ - -		miles de plantas ha^{-1}	
<i>Crotalaria</i> (CR)	4.52	7.33	458	446
Sorgo forrajero (SF)	9.10	9.50	362	182
Pastos†	0.00	0.26		26
<i>Clitoria</i> (CL)	1.14	0.32	200	112
<i>Amaranthus</i> ‡	0.00	0.39		14
Pastos	1.21	1.31	152	164
Maleza (MA)				
<i>Amaranthus</i>	3.01	3.76	80	94
Pastos	0.77	1.10	100	110

† Maleza gramínea.

‡ Maleza predominante *Amaranthus* spp.

(plantas ha^{-1}) fue significativamente mayor en las parcelas de CL que en las de otros abonos. En las parcelas de CL, la presencia de malezas fue de menor impacto en 1992 que en 1993; esto pudiera estar relacionado con la limitada cobertura de CL durante los primeros 30 a 35 dds, así como por una menor población de plantas de CL en 1993 que favoreció la competencia de las malezas. Esta situación no era esperada dado que CL había mostrado una excelente adaptación a la región semi-árida de Tecomán desde que fue introducida por Pérez-Zamora en 1988; sin embargo, *Clitoria* siempre se caracterizó por mostrar tasas de crecimiento bajas durante los primeros 30 dds.

En el verano, durante los 2 años del experimento, la comunidad de maleza estuvo constituida principalmente por especies de pasto anuales (*Echinochloa colona* (L) Link.) en CL y SF, mientras que en las parcelas de MA la comunidad estuvo compuesta por maleza de hoja ancha (*Amaranthus Viridis* L., *Amaranthus dubius* Mart y *Festuca olereacea* L.) y pasto. En contraste con lo anterior, en las parcelas de CR no se observó maleza (Cuadro 1).

Durante el cultivo de melón en el invierno, los pastos dominaron en las parcelas de CL y se controlaron con deshierbes manuales y aplicación de herbicidas; en contraste con esto, en las parcelas de CR y SF la maleza presente fue de hoja ancha, pero solo se requirió un deshierbe, mientras que en MA y Testigo (T) se requirieron ambos, deshierbe manual y aplicación de herbicidas, para controlar las malezas de hoja ancha y angosta. En la región, el control de malezas es una de las principales limitaciones de la producción de este cultivo para incrementar los

rendimientos y reducir los costos (Pérez-Zamora, 1994). De la experiencia destaca que el desarrollo de CR y SF facilitaron las labores de cultivo en el invierno, por lo que es importante considerarla por aquellos productores que desean evitar el uso de herbicidas. Además, se obtuvo un efecto benéfico (incremento de 1%) en el contenido de materia orgánica del suelo mediante el uso de abonos verdes después de dos ciclos de incorporación. Los contenidos de materia orgánica del suelo antes del establecimiento de los abonos verdes fueron de 0.6 a 0.9% en el sitio experimental; después de dos años de cultivo e incorporación, los contenidos de dicha materia orgánica tuvieron valores de 2.0% en promedio para los diferentes tratamientos de abonos verdes. El incremento registrado en materia orgánica fue similar para todas las parcelas, sin embargo, tal incremento no estuvo directamente relacionado con la cantidad de residuos retornados al suelo como lo reportan otras investigaciones (Campbell *et al.*, 1991; Larson *et al.*, 1972).

Relación entre Abonos Verdes y Crecimiento del Melón

Durante los primeros 37 dds (etapa de floración), el crecimiento del melón cantaloupe dependió de los abonos verdes y maleza que creció durante los periodos de descanso. La biomasa de CR incorporada afectó adversamente el crecimiento del melón. Este efecto adverso fue evidente por falta de cobertura del follaje en las camas de siembra y por la emisión retardada de guías de melón. Sin embargo, el cultivo se recuperó gradualmente del efecto adverso inicial. Las plantas superaron dicho efecto 48 a 53 dds (maduración de los frutos), ya que no se afectó el rendimiento y la calidad de fruta. Los rendimientos del melón cantaloupe en las parcelas de CR produjeron significativamente ($P < 0.01$) mayores rendimientos que el testigo en los dos tratamientos de acolchado (CP y SP); la cantidad total y número de cajas de exportación ha^{-1} fueron significativamente mayores ($P < 0.01$) para CP y SP que en SP + abonos verdes y CP + MAL y T (Cuadros 2, 3 y 4).

El efecto adverso de la incorporación de CR sobre el crecimiento del melón pudiera estar relacionado con la producción y acumulación de ácidos orgánicos y toxinas durante la descomposición de CR, esto pudo retardar la elongación de las raíces, el crecimiento de

Cuadro 2. Influencia de los abonos verdes y plástico de polietileno en el rendimiento de melón cantaloupe Laguna.

Fuente	Producción de fruta		
	Exportación	Nacional	Total
	----- t ha ⁻¹ -----		
Cubierta plástica			
<i>Clitoria</i>	36.19	21.21	57.40
Sorgo forrajero	40.65	16.44	57.09
<i>Crotalaria</i>	44.65	18.41	63.06
Maleza	25.08	16.70	41.78
Testigo limpio	21.64	25.91	47.55
Suelo desnudo			
<i>Clitoria</i>	15.80	9.68	25.48
Sorgo forrajero	25.01	10.18	35.19
<i>Crotalaria</i>	26.27	13.82	40.09
Maleza	10.47	7.15	17.62
Testigo limpio	11.09	13.46	24.55
Tukey 0.05	4.47	5.25	4.83

Cuadro 3. Efecto de los abonos verdes en la producción de fruta (cajas ha⁻¹) de melón cantaloupe Laguna.

Fuente	Producción de fruta		
	Exportación	Nacional	Total
	----- cajas ha ⁻¹ -----		
Cubierta plástica			
<i>Clitoria</i>	1956	1147	3103
Sorgo forrajero	2200	886	3086
<i>Crotalaria</i>	2414	994	3408
Maleza	1355	903	2258
Testigo limpio	1180	1441	2621
Suelo desnudo			
<i>Clitoria</i>	854	522	1376
Sorgo forrajero	1352	550	1902
<i>Crotalaria</i>	1402	765	2167
Maleza	566	387	953
Testigo limpio	599	727	1326
Tukey 0.05	243	666	873

tallos y guías, y la asimilación de nutrimentos. Esto es sugerido por el hecho de que, aun donde las parcelas de CR se cubrieron con plástico, el crecimiento fue lento en comparación con el resto de los tratamientos.

El crecimiento más rápido del melón (53 dds) en parcelas T cubiertas con plástico no presentó ventajas de rendimiento de fruta, excepto cuando se comparó con abonos verdes sin cobertura de plástico (Cuadro 2 y 4). La producción de fruta de exportación fue (21.64 t ha⁻¹) menor en T con CP que en los otros tratamientos con plásticos de polietileno. La producción de T-CP también resultó más baja que en los

Cuadro 4. Análisis de varianza producción (cajas ha⁻¹) de melón cantaloupe Laguna.

Fuente	Exportación			Total (Exportación + Nacional)	
	G:L	F calc	Significancia	F calc	Significancia
Cubierta plástica	1	487.30	**	1162.90	**
Bloques	4	0.41	NS	0.98	NS
Error (a)	4				
Abonos verdes	4	240.82	**	205.67	**
Interacción plástico x abono verde	4	11.29	**	11.43	*
Error (b)	32				
C.V. (%)		6.80			

* = P<0.05; ** = P<0.01; NS = no significativo.

tratamientos de CR y SF ubicados en suelo desnudo (SP).

El hecho de que si el abono verde incorporado cubre los requerimientos nutricionales del melón es un punto que está más lejos del alcance de los propósitos del presente estudio, ya que para encontrar respuesta a esto se requiere investigación adicional. Al presente, éste es un asunto muy delicado, dado que el melón cantaloupe es un cultivo muy importante y representa un ingreso de divisas significativo para la región; por lo que quedarse corto en el suministro de nutrimentos para obtener los rendimientos apropiados es un riesgo que los productores no están dispuestos a correr por el momento. Basados en experiencias de campo, se requiere incorporar cantidades considerables de nutrimentos para obtener un incremento aceptable de producción de fruta de exportación. Esta situación es aún más delicada por el ciclo tan corto del cultivo al cubrir el suelo con plástico de polietileno.

Producción de Cantaloupe

La producción de melón cantaloupe respondió sensiblemente (P < 0.01) a las cubiertas plásticas e incorporación de abonos verdes. Aunque las leguminosas liberan rápidamente el N, poco tiempo después de la incorporación, los valores de N proporcionados son de bajos a moderados para obtener una producción de melón en cantidad y calidad aceptables (Pérez-Zamora *et al.*, 1994). En el experimento, al muestrear peciolo de hojas durante la etapa de maduración de los primeros frutos (50 dds), se registraron contenidos adecuados de N (6500 a 7500 ppm de NO₃) en las plantas. Los análisis estadísticos

Cuadro 5. Contrastes ortogonales para comparaciones seleccionadas de abonos verdes sobre la producción de melón cantaloupe Laguna (número de cajas de exportación ha⁻¹).

Contraste	Sin plástico					Con plástico				
	T†	CL	SF	CR	MA	T	CL	SF	CR	MA
	599	854	1352	1402	566	1180	1956	2200	2414	1355
	cajas ha ⁻¹									
C1†	-1	-1	-1	-1	-1	1	1	1	1	1
C2	0	1	-1	1	-1	0	1	-1	1	-1
C3	-4	1	1	1	1	-4	1	1	1	1
C4	0	1	0	-1	0	0	1	0	-1	0
C5	0	0	1	0	-1	0	0	1	-1	0
C6	0	-1	1	-1	1	0	1	-1	1	-1
C7	4	-1	-1	-1	-1	-4	1	1	1	1
C8	0	-1	0	1	0	0	1	0	-1	0
C9	0	0	-1	0	1	0	0	1	0	-1

† C1: Con plástico vs Sin plástico; C2: Leguminosas vs no Leguminosas; C3: Testigo vs Abonos verdes; C4: *Crotalaria* vs *Clitoria*; C5: Sorgo vs Maleza; C6 a C9: Interacción cubierta plástica por abonos verdes.

†T = Testigo; CL = *Clitoria*; SF = Sorgo forrajero; CR = *Crotalaria*; MA = Maleza.

mostraron que la producción obtenida en las parcelas en las que se incorporaron abonos verdes fueron significativamente ($P < 0.01$) superiores en suelos con y sin cubierta de plástico con respecto al testigo (T).

En la ausencia (T) de abonos verdes, el número de frutos por planta fue menor que en CP + abonos verdes y SP + abonos verdes a los 50 días. Los frutos maduraron seis días antes en los suelos mejorados con abonos + CP con respecto al suelo sin plástico con o sin abonos verdes. En consecuencia, la cosecha de melones comenzó también seis días más temprano en las parcelas CP. El término de la cosecha fue el mismo para CP y SP, consecuentemente el período de corte fue más largo para las parcelas cubiertas con plástico.

Los valores de F calculada no fueron significativos para los bloques, tanto para cajas de exportación como para la producción total (Cuadro 4). En este cuadro se observa que los factores plásticos, abonos verdes y la interacción de estos dos factores resultó ($P < 0.01$) altamente significativa. En el caso de plástico, las parcelas con éste produjeron 1.86 veces más que las parcelas que no se cubrieron. Por lo anterior, se efectuó un análisis estadístico que incluyó contrastes ortogonales; los contrastes se presentan en el Cuadro 5. Las comparaciones que se consideraron son las siguientes: CP vs SP como C1, C2 fue la comparación de leguminosas vs no leguminosas, C3 *Crotalaria* vs *Clitoria* y C4 comparó SF vs MA. Los grados de libertad para la interacción se analizaron para contrastes individuales, C6 fue T vs abonos verdes, C7 leguminosas vs no leguminosas, CR vs CL fue C8 y la comparación de SF vs MA fue C9; todos

(C6 a C9) con la presencia y ausencia de cubierta plástica (Cuadro 5).

Un análisis de contrastes ortogonales también se hizo para la producción total de melón; los resultados fueron similares a los de producción de fruta de exportación, por lo que en esta presentación solo se incluirán los de esta clasificación de fruta en unidades de cajas de exportación. Esto se hace así porque para los productores resulta intrascendente la producción total en t ha⁻¹, debido a que no se tiene información sobre el tamaño de fruta o número de frutos que se acomodan por caja. La información que se tiene en la zona es que se prefieren frutos de tamaño 12 y 15.

Como era de esperar, la comparación resultó favorable ($P < 0.01$) para la cubierta plástica (1823 cajas) que SP (954 cajas ha⁻¹). Los contrastes C2 a C5 resultaron ($P < 0.01$) altamente significativos y los valores de F fueron de 94.54, 347.06, 143.68 y 378.01 para C2, C3, C4 y C5, respectivamente. La comparación de leguminosas (1656 cajas) fue favorable para el uso de éstas vs el uso de no leguminosas (1368 cajas ha⁻¹). Los abonos verdes (1513 cajas) resultaron considerablemente (1.7) mejores que el no uso de abonos verdes. Por lo que respecta a las leguminosas, *Crotalaria* fue 36% mejor que *Clitoria* (1907 cajas con CR vs 1405 cajas con CL). Finalmente, SF fue 1.85 veces más efectivo como abono verde que MA.

El tamaño, la calidad y cantidad de fruta varió significativamente para la CP y abonos verdes incorporados, con respecto al suelo desnudo. En las parcelas sin plástico los tamaños de fruto fueron de 15,

18 y 23 melones/caja, mientras que en los tratamientos con cubierta plástica, los tamaños promedio fueron 9 y 12 (Figura 1). El tratamiento CR + CP produjo el mayor tamaño de frutos (75 cajas ha^{-1} del número 6). Fruta de este tamaño sólo se observó en dicho tratamiento. Las parcelas con abonos verdes + CP produjeron fruta de mayor tamaño (9 y 12) que los tratamientos MA + CP y T + CP. En suelo desnudo los frutos también resultaron de mayor tamaño en las parcelas de SF y CR, con respecto a CL, MA y T. Los rendimientos superiores obtenidos con CP pudieran estar relacionados con una combinación de factores como son mayor retención de humedad del suelo, temperaturas más altas en el suelo y un incremento en las tasas de asimilación de nutrimentos, que adelantó el período productivo con respecto a suelo sin cubierta plástica (Al-Assir *et al.*, 1992; Grubinger *et al.*, 1993; Ham *et al.*, 1993; Rubeiz *et al.*, 1991; Tindall *et al.*, 1991; Wien *et al.*, 1993). Además, el efecto reflectivo del plástico (CP) redujo las incidencias de enfermedades virósicas y demoró en dos semanas el inicio de la aparición de plantas con síntomas característicos de virosis, con respecto a las plantas localizadas en suelo desnudo. También se observó una disminución en las poblaciones de áfidos y mosquitas blancas; esto se atribuyó al efecto repelente de la cubierta plástica (Kelly *et al.*, 1989; Natwick y Durazo, 1985).

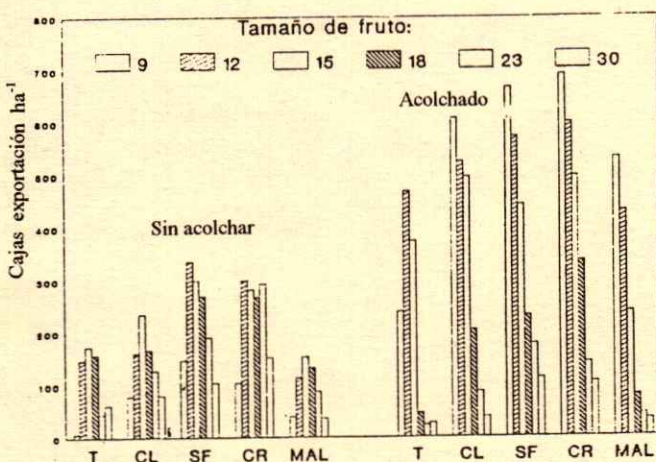


Figura 1. Efecto de abonos verdes en el tamaño de fruto de melón cantaloupe. T = Testigo; CL = *Clitoria*; SF = Sorgo forrajero; CR = *Crotalaria*; MAL = Maleza.

CONCLUSIONES

1. La combinación de abonos verdes, plástico de polietileno y riego por goteo aumentó la producción y calidad de la fruta de melón con respecto al sistema local sin abono y suelo desnudo (10 t ha^{-1} ó 700 cajas ha^{-1} de fruta de exportación).
2. La incorporación de abonos verdes mostró efecto benéfico al aumentar en 1% el contenido de materia orgánica del suelo después de dos ciclos de cultivo.
3. Las cubiertas de plástico incrementaron la producción de fruta de melón; además, adelantaron la floración y cosecha en seis días y alargaron el ciclo de colecta de fruta al doble, con respecto a los suelos desnudos.
4. La combinación de cubiertas plásticas y abonos verdes tuvo una mayor influencia positiva sobre el tamaño del fruto, que cualquiera de estos dos factores aislados.
5. El mejor tratamiento, que incrementó fruta en cantidad y calidad, resultó *Crotalaria* + CP. Además de controlar malezas, no requirió de fertilizante ni de aplicación de insecticidas o fungicidas y produjo igual cantidad de biomasa con o sin fósforo residual en el suelo.

LITERATURA CITADA

- Al-Assir, I.A., I. G. Rubeiz y R. Y. Khoury. 1992. Yield response of greenhouse cantaloupe to clear and black plastic mulches. *Biological Agriculture and Horticulture* 8: 205-209.
- Bhella, H.S. y G.E. Wilcox. 1986. Yield and composition of muskmelon as influenced by preplant and trickled applied nitrogen. *HortScience* 21: 86-88.
- Campbell, C.A., K.E. Bowren, M. Schnitzer, R.P. Zentner y L. Townley-Smith. 1991. Effect of crop rotation and fertilization on soil organic matter and some biochemical properties of a thick Black Chernozem. *Can. J. Soil Sci.* 71: 377-387.
- Doll, E.C. 1962. Nitrogen fertilization of alfalfa and alfalfa-orchardgrass hay. *Agron J.* 54: 469.
- Fox, R.L. y E.J. Kamprath. 1970. Phosphate sorption isotherm for evaluating the phosphate requirement of soils. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 34: 902-907.
- Grubinger, V.P., P.L. Minotti, H.C. Wien y A.D. Turner. 1993. Tomato response to starter fertilizer, polyethylene mulch, and level of soil phosphorus. *J. Am. Soc. Hort. Sci.* 118(2): 212-216.

- Ham, J.M., G.J. Kluitenberg y W.J. Lamont. 1993. Optical properties of plastic mulches affect the field temperature regime. *J. Am. Soc. Hort. Sci.* 118(2): 118-193.
- Kelly, W.C. 1990. Minimal use of synthetic fertilizers in vegetable production. *HortScience* 25: 168-169.
- Kelly, J.W., P.H. Adler, D.R. Decoteau y S. Lawrence. 1989. Colored reflective surfaces to control whitefly on poinsettia. *HortScience* 24: 1045.
- Larson, W.E., C.E. Clapp, W.H. Pierre y Y.B. Morachan. 1972. Effects of increasing amounts of organic residues on continuous corn: II Organic carbon, nitrogen, phosphorus, and sulfur. *Agron. J.* 64: 204-208.
- Loy, J.B. y O.S. Wells. 1975. Response of hybrid muskmelon to polyethylene mulch. *Scientia Hort.* 3: 223-230.
- Natwick, E.T. y A. Durazo. 1985. Polyester cover protect vegetables from whiteflies and virus disease. *California Agriculture* 39: 21-22.
- Orozco S., M., O. López A., O. Pérez Z. y F. Delgadillo S. 1994. Effect of transparent mulch, floating row covers and oil spray on insect populations, virus diseases and yield of cantaloup. *Biological Agriculture and Horticulture* 10: 229-234.
- Pérez-Zamora., O., O. López A y M. Orozco S. 1994. Green manure use for Muskmelon (*Cucumis melo* L.) production in Colima, Mexico. XV World Congress of Soil Science. Acapulco, Mexico.
- Pérez-Zamora., O. 1994. Estudio preliminar de la precipitación pluvial mensual en el estado de Colima. Centro de Investigaciones del Pacífico Centro. Folleto Técnico No. 1. Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos. México.
- Peters, E.J. y J.F. Stritzke. 1970. Herbicides and nitrogen fertilizer for the establishment of three varieties of spring-sown alfalfa. *Agron. J.* 62: 259-262.
- Rubeiz, I.G., Z.U. Naja y M.N. Nimah. 1991. Enhancing late and early yield of greenhouse cucumber with plastic mulches. *Biological Agriculture and Horticulture* 8: 7-70.
- Tindall, J.A., R.B. Beverly y D.E. Radcliffe. 1991. Mulch effect on soil properties and tomato growth using micro-irrigation. *Agron. J.* 83: 1028-1034.
- Wien, H.C., P.L. Minotti y V.P. Grubinger. 1993. Polyethylene mulch stimulates early root growth and nutrient uptake of transplanted tomatoes. *J. Am. Soc. Hort. Sci.* 118(2): 207-211.

RIESGO POTENCIAL DE EROSION EOLICA EN EL ESTADO DE JALISCO, MEXICO

Potential Risk of Wind Erosion in the State of Jalisco, Mexico

Rafael Zárate Z.¹ e Hilario de la Cruz M.

RESUMEN

El objetivo principal de esta investigación fue evaluar y cartografiar el riesgo potencial mínimo y máximo de erosión eólica en el estado de Jalisco. El trabajo se realizó a escala de 1:575 000. De acuerdo con el procedimiento SOTER, se creó una base de datos relacional con información de: (a) clima con 128 estaciones meteorológicas, (b) suelos y (c) un mapa cartográfico base. Para la evaluación del riesgo potencial de erosión eólica se utilizó el modelo: $E_e = C_e I_s U$; donde, C_e es la erosividad eólica, I_s es la erosionabilidad del suelo y U es la rugosidad superficial del suelo. Los resultados obtenidos mostraron sólo la presencia de tres clases de riesgo mínimo: moderado, extremo y severo, esta última clase fue dominante en 80% del territorio estatal. De la evaluación del riesgo máximo sólo se encontró la presencia de dos clases: severo y extremo, dominando esta última en 89% de Jalisco. Los mapas de riesgo potencial de erosión eólica generados serán de gran utilidad para la planeación de: (a) estudios más detallados en el área bajo estudio y (b) inversiones destinadas a la prevención de eventos extremos de erosión eólica.

Palabras clave: Erosión eólica, riesgo potencial, SOTER.

SUMMARY

The principal objective of this research was to evaluate and cartography the minimum and maximum potential risk of wind erosion in the State of Jalisco. The work was carried out at scale 1:575 000.

¹Universidad Autónoma Chapingo, Centro Regional Universitario de Occidente. Manuel M. Diéguez 113, S.H. 44680 Guadalajara, Jalisco.

Tel. y Fax. (3) 6151729

Aceptado: Abril de 1996.

According to the SOTER procedure, a relational data base was created with information of: (a) climate with 128 meteorological stations, (b) soils, and (c) a cartographic base map. For the evaluation of the potential risk of wind erosion the model $E_e = C_e I_s U$ was utilized; where, C_e is wind erosivity, I_s is soil erodability and U is soil superficial ruggedness. The results obtained only showed the presence of three minimum risk classes: moderate, extreme and severe, being dominant this last class in 80% of the state territory. From the evaluation of the maximum risk only the presence of two classes was found: severe and extreme, dominating this latter in 89% of Jalisco. The maps of erosion potential risk generated will be of great utility in order to plan: (a) more detailed research in the studied area, and (b) investments destined to prevent extreme events of wind erosion.

Index words: Wind erosion, potential risk, SOTER, State of Jalisco.

INTRODUCCION

En la investigación sobre degradación se puede hacer referencia al estudio de tres aspectos básicos: (a) el estado actual de degradación, (b) el riesgo potencial y actual de que ocurra degradación y (c) la velocidad con que ocurre la degradación; es decir, como evoluciona en tiempo y espacio.

Cada faceta en la investigación sobre degradación tiene una utilidad específica. De tal forma que se necesitará un estudio del estado actual cuando se quieran realizar acciones de control y rehabilitación, se requerirá de un análisis de la velocidad, cuando se necesite combatir; en tanto que, el conocimiento del riesgo de degradación será de utilidad para implementar estrategias encaminadas a lograr la prevención de la degradación, por lo que este último es de utilidad para la planeación de programas de desarrollo a mediano y largo plazos.

El problema de la degradación de los suelos se ha acentuado en los últimos años en el estado de Jalisco,

principalmente en las zonas desprovistas de vegetación y en aquellos lugares donde avanza la urbanización, sobre tierras con aptitud para la producción de alimentos. Por otra parte, la erosión eólica está abarcando áreas cada vez más extensas alrededor de los lagos y lagunas, debido al descenso del nivel del agua en la época seca del año, y en tierras de cultivo frágiles debido al uso inadecuado de maquinaria agrícola y a la preparación de tierras en tiempo equivocado.

Este estudio se llevó a cabo con el objeto de realizar la evaluación y la cartografía del riesgo potencial mínimo y máximo de degradación de la tierra por erosión eólica en el estado de Jalisco, México.

En esta investigación, el término erosión eólica potencial se definió como la erosión que puede ocurrir en caso de que exista una deforestación que conduzca a la eliminación total de la cobertura vegetal, por lo que el suelo quedaría totalmente descubierto y a merced de la acción erosiva del viento. Tal situación extrema se ha considerado debido a que es el escenario ambiental real que se presenta en diversos ecosistemas del país, por lo que se creyó necesario evaluar este tipo de degradación bajo tales circunstancias. Por otra parte, no se consideró el efecto de la altitud, topografías y zonas urbanas, como restricción a la erosión del viento; además, el método no fue validado, ni se verificaron datos en campo, por lo que este trabajo constituye una primera aproximación en la investigación sobre erosión eólica en el estado de Jalisco.

La Erosión Eólica

Al término erosión se le adjudica el proceso físico que consiste en el desprendimiento y arrastre de los materiales del suelo por los agentes del intemperismo (Colegio de Postgraduados, 1982). Por erosión eólica (del latín *erosio* = roedura, derivado del *erodere* = corroer y del griego *aliolos* = eolo, viento), se considera al movimiento de las partículas del suelo producidas por la fuerza del viento, ejercida contra la superficie del terreno (García, 1976). La erosión eólica consiste en la remoción y deposición de las partículas del suelo por la acción del viento, así como los efectos abrasivos de las partículas en movimiento, cuando éstas son transportadas por este agente atmosférico (FAO, 1980).

El viento es un agente físico que influye en la erosión y formación de los suelos al causar el

desprendimiento, transporte, deposición y mezcla del suelo. El viento no erosiona las rocas por sí mismo, sino que el factor causante de este desgaste es la abrasión provocada por las partículas del suelo en suspensión (Colegio de Postgraduados, 1982).

De forma general, la erosión eólica se presenta en zonas áridas y semiáridas; sin embargo, la FAO (1984a) menciona que puede ocurrir en aquellos lugares donde: (a) la cubierta vegetal es pobre o inestable, como sucede en las tierras degradadas por cultivo intensivo, o en las sobrepastoreadas o deforestadas; (b) el suelo es suelto, seco y finamente dividido, como en suelos donde la fracción textural es dominada por limo fino y arcilla; (c) debido a la falta de materia orgánica o pisoteo del ganado, la estructura del suelo se deshace y desaparece; (d) el terreno es abierto y no presenta obstáculos al viento y la topografía es plana u ondulada; (e) el viento es lo bastante fuerte para ocasionar el movimiento del suelo.

En el proceso de erosión eólica se pueden diferenciar tres fases: (a) desprendimiento de las partículas del suelo (se inicia el movimiento), (b) transporte del material y (c) deposición de las partículas en suspensión (Kirkby y Morgan, citados por Amante, 1989; Chepil y Woodruff, 1962).

Factores que Influyen en la Erosión Eólica

La intensidad con que se puede presentar la erosión eólica, se encuentra influida por la erosionabilidad del suelo, la erosividad del viento y los factores que afectan a esta última (Wilson y Cooke, 1984).

Los factores del suelo que se consideran más importantes y que favorecen indirectamente el desarrollo de la erosión eólica son: (a) humedad del suelo, (b) textura, (c) materia orgánica y (d) procesos disgregantes.

Los principales factores que afectan la erosividad del viento son: (a) factores de flujo atmosférico y (b) factores de rugosidad superficial, entre los que se pueden indicar: vegetación, rugosidad del suelo, barreras o cinturones de protección contra el viento y cambios locales en la topografía (Chepil *et al.*, 1962).

En general, el factor más importante que facilita la erosión eólica es la ausencia de cobertura vegetal; sin embargo, la FAO (1984b) menciona que la principal causa de dicha erosión es el manejo inapropiado del suelo, respecto a las prácticas agrícolas.

Trabajos Realizados sobre Erosión Eólica en el Estado de Jalisco

En el estudio realizado por Ortiz y Estrada (1991), en el que se evaluó a nivel nacional la erosión eólica con la metodología FAO (1980), se señala que en Jalisco la clase moderada cubrió 1.0%, la severa 65.5% y la muy severa 33.4%.

MATERIALES Y METODOS

La presente investigación se realizó con base en un método general básico, mismo que fue adaptado a nivel estatal de acuerdo con el tipo de información disponible respecto a clima, terreno y suelo, por lo que se utilizaron los índices que se podían evaluar según el tipo de datos existentes. Este método fue compilado a partir de tres procedimientos: (a) SOTER, (b) el propuesto por Shields y Coote (1989) y (c) el de FAO (1980), a una escala de trabajo de 1:575 000.

El Area bajo Estudio

El estado de Jalisco se ubica entre las coordenadas extremas de 18°58'05" y 22°51'49" de latitud norte y entre 101°28'15" y 105°43'16" de longitud oeste, la altitud promedio es de 1 578 m, y tiene una superficie de 80 137 km², dividida en 124 municipios. El clima varía de cálido húmedo, pasando por el templado, a cálido seco. Los suelos predominantes son:

Faeozems, Cambisoles, Luvisoles, Litosoles, Vertisoles, Planosoles y Xerosoles (Secretaría de Programación y Presupuesto, 1981). En 1990, la densidad de población en el estado era de 66.16 habitantes km² (Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, 1990).

De acuerdo con el procedimiento SOTER, para la elaboración de una base de datos relacional se parte de un mapa cartográfico base, cuyas unidades elementales forman el esqueleto que será llenado con información de clima, terreno y suelo. Este mapa constituye el marco geográfico para la elaboración de la cartografía del riesgo potencial de erosión eólica.

Sistema de Referencia Geográfico

Para la creación de este sistema se utilizó el mapa base elaborado por Chaidez (1990), quien delimitó las unidades cartográficas (fisiográficas, UF),

considerando el enfoque paisajista con base en la metodología de levantamiento fisiográfico (Ortiz y Cuanalo, 1984) y tomando como base una imagen de satélite ERTS/LANDSAT en "falso color", a escala 1:575 000. Estas unidades fueron agrupadas a nivel sistema terrestre de acuerdo con características del relieve, patrón de drenaje y color de la imagen, considerando un área mínima cartografiable de 1 cm², de tal forma que se obtuvieron 309 UF.

Base de Datos Climáticos

Esta base de datos se elaboró de acuerdo con el esquema SOTER, con la información histórica mensual existente en los archivos del Servicio Meteorológico Nacional (SMN), respecto a: precipitación total (mm), magnitud del viento (m s⁻¹), temperatura media máxima y mínima (°C). Se seleccionaron 115 estaciones meteorológicas en el estado de Jalisco, cuatro del estado de Aguascalientes, cinco del estado de Colima y cuatro del estado de Guanajuato. Sólo se consideraron aquellas que al menos tuvieran un registro mayor que 10 años. La densidad de este tipo de estaciones en el área estudiada fue de 1.6 por 1 000 km².

Se trabajó bajo el supuesto de que los datos promedio obtenidos a partir de registros históricos del SMN son confiables para la escala de estudio y como una primera aproximación en el estudio de erosión eólica en el estado de Jalisco.

Es necesario indicar que la velocidad del viento, considerada desde el punto de vista físico, es un vector constituido por dos componentes: magnitud y dirección, en este estudio sólo se consideró la magnitud.

Evaluación del Riesgo de Erosión Eólica

Para evaluar el riesgo potencial de erosión eólica a pequeña escala (1:575 000) fue necesario ajustar los componentes del modelo paramétrico original denominado Ecuación para Erosión Eólica (EEE). Por lo que se usó la metodología generada por la FAO (1980) y la propuesta por Shields y Coote (1989), el modelo utilizado fue el siguiente:

$$E_e = C_e I_s U$$

Donde:

Ee = pérdida potencial de suelo al año por erosión eólica ($t\ ha^{-1}\ año^{-1}$),

Ce = factor erosividad eólica,

Is = factor erosionabilidad del suelo,

U = factor rugosidad superficial del suelo.

Factor erosividad eólica (Ce). Para el cálculo de este factor, se dividió el año con base en la acumulación de la precipitación, de tal forma que se obtuvieron dos períodos, uno, en el que se presentó 80% de la precipitación total anual y se denominó período húmedo (Ce_{m-o} , mayo a octubre) y otro, caracterizado por la presencia del 20% de la lluvia total anual, llamado período seco (Ce_{n-a} , noviembre a abril), para esto se empleó la ecuación siguiente:

$$Ce = 386 \frac{Vz^3}{12 \left(\sum_{i=1}^{12} 10(P-E)_i \right)^2}$$

Donde:

Vz = magnitud del viento promedio anual ($m\ s^{-1}$), a 10 m de altura,

i = i-ésimo mes del año,

P-E = índice precipitación-evaporación de Thornthwaite, calculado con la ecuación siguiente:

$$10(P-E)_i = 115 \left[\left(\frac{P_i}{25.4} \right) / \left(1.18 T_i + 22 \right) \right]^{1.11}$$

Donde:

Pi = precipitación total mensual, que debe ser mayor que 12.7 mm, de lo contrario 12.7 deberá utilizarse,

Ti = temperatura media mensual, que debe ser mayor que $-1.7\ ^\circ C$, de lo contrario -1.7 deberá utilizarse.

Cuando el cálculo de Ce se realiza en unidades métricas, el valor resultante es casi 100 %, respecto al original de Garden City, Kansas, USA, y los valores obtenidos para otros lugares son iguales como los calculados usando el método original de Chepil *et al.* (1962) (Lyles, citado por Shields y Coote, 1989).

Para obtener la magnitud del viento en metros por segundo ($m\ s^{-1}$), se utilizó la escala de Beaufort (WMO, 1983), debido a que las mediciones del SMN sólo registran una clave al realizar la observación. En

Cuadro 1. Factor erosionabilidad eólica del suelo con base en grupos texturales.

Tipo de suelo	Grupo textural del suelo		
	Gruesa	Media	Fina
Suelo no calcáreo	3.50	1.25	1.85
Suelo calcáreo	3.50	1.75	1.85
Suelos pedregosos o guijarrosos	1.75		0.92
no calcáreos		0.62	
calcáreos		0.87	

Cuadro 2. Factor rugosidad superficial.

Grupo textural del suelo	Gruesa	Media	Fina
Valor del factor	1	0.75	0.5

esta escala se utilizan intervalos mínimos y máximos, los cuales se emplearon para el cálculo de los índices de erosividad.

Posteriormente, se procedió a generar mapas de isolíneas de erosividad, usando el método de interpolación de la distancia inversa cuadrada. La interpolación se realizó sin considerar el efecto de la altitud y de las topografías; es decir, se hizo bajo el supuesto de que no existe influencia de estos factores sobre la distribución espacial de los valores del índice de erosividad eólica, por lo que esta evaluación constituye una primera aproximación. Estos mapas fueron reportados por Zárate (1992).

Factor erosionabilidad del suelo (Is). Con el objeto de utilizar los datos existentes en las cartas de suelos publicadas por el INEGI (Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática), se empleó la clasificación (Cuadro 1) generada a través de la correlación entre la textura del suelo y los grupos de erosionabilidad eólica definidos por Lyles, citado por FAO (1980). Las unidades de Is son $t\ ha\ año^{-1}$.

Factor rugosidad superficial del suelo (U). Este factor se emplea para reflejar el efecto de la labranza y de la resistencia del suelo al colapso de la rugosidad formada por ésta. Este se debe entender como un calificativo subjetivo adicionado a la erosionabilidad para un tipo de suelo. Los valores del Cuadro 2 se pueden aplicar en tierras donde se realiza una labranza normal para la producción de cultivos. En lugares donde la labranza no se practica normalmente, el factor U se puede considerar con valor igual que la unidad.

Clases de Riesgo Potencial de Erosión Eólica

El valor del riesgo potencial anual de erosión eólica (E_e) ($t\ ha^{-1}\ año^{-1}$) se obtuvo a partir del cálculo realizado para dos épocas del año: húmeda ($E_{e_{m-o}}$) y seca ($E_{e_{n-a}}$), de tal forma que el valor E_e , resultó de la suma de las ecuaciones siguientes:

$$E_{e_{m-o}} = C_{e_{m-o}} I_s U \quad \text{y} \quad E_{e_{n-a}} = C_{e_{n-a}} I_s U$$

Los valores obtenidos se interpretaron con base en las clases mostradas en el Cuadro 3, para obtener una clasificación de la intensidad del riesgo potencial de erosión eólica; es decir, en suelos sin protección por vegetación, topoformas y zonas urbanas, contra la acción del viento.

RESULTADOS Y DISCUSION

Los resultados obtenidos de la evaluación y cartografía del riesgo de erosión eólica se presentan como datos y mapas de riesgo potencial mínimo y máximo.

Riesgo Potencial Mínimo de Erosión Eólica

El riesgo potencial mínimo de erosión eólica se obtuvo utilizando la magnitud mínima de viento, por lo que los valores obtenidos para el índice de erosividad durante el periodo húmedo variaron entre 0 y 50, que con base en FAO (1980) se pueden clasificar en tres clases: nula (0 a 2), ligera (3 a 20) y moderada (21 a 50), donde fue dominante la clase nula. En la época seca, los valores de erosividad variaron entre 40 y 490, y se clasificaron en tres clases de acuerdo con FAO (1980): moderada, alta (51 a 150) y muy alta (>150), donde fue dominante la clase alta.

Los índices de erosividad más elevados en la época húmeda se localizan en la zona noreste (12 a 50), mientras que los índices máximos del periodo seco se

Cuadro 3. Clases de riesgo potencial anual de erosión eólica.

Clases de riesgo potencial	Pérdida de suelo ($t\ ha^{-1}\ año^{-1}$)
Nulo	< 2.0
Bajo	2.0 a 9.9
Moderado	10.0 a 49.9
Severo	50.0 a 199.9
Extremo	> 200.0

localizan en la parte norte (130 a 430) y sur (70 a 490) de la entidad. Por otra parte, los índices más bajos, de mayo a octubre, se ubican en dos franjas: una, que va de sur a noroeste (<4) y otra, que va de centro a sureste (<4). Para el periodo de noviembre a abril, los índices mínimos se observaron en el sureste, suroeste y pequeñas áreas en el centro.

En cuanto a la evaluación del riesgo de erosión eólica, se pudo apreciar que no existieron las clases riesgo nulo y bajo; es decir, sólo se determinaron tres clases: moderado, severo y extremo. De éstas predominó la clase de riesgo severo en 80% de Jalisco (6 400 845 ha), en segundo lugar se encontró la clase moderada en 10% del estado (766 233 ha) y por último se tuvo la clase de riesgo extremo en 9% (720 587 ha).

En la Figura 1 se observa la distribución de las clases de riesgo en el estado, donde la clase de riesgo severo cubre la mayor parte del territorio estatal. La clase de riesgo moderado se localiza de manera aislada en las zonas norte y este, y algunas áreas más extensas en el sureste y sur del estado, específicamente en las regiones de Mazamitla y Pihuamo; de la misma manera, se puede observar una franja que va del centro al suroeste. La clase de riesgo extremo se encuentra distribuida en las regiones norte, centro, oeste, sureste y sur de la entidad.

Cabe señalar que entre la clase moderada y extrema no existe una diferencia significativa respecto a la superficie ocupada por cada una de ellas. Sin embargo, la clase severa con respecto a las anteriores sí presenta una gran diferencia, ya que ésta ocupó 80% del total estatal.

Riesgo Potencial Máximo de Erosión Eólica

Para calcular el riesgo potencial máximo de erosión eólica se utilizó la magnitud máxima del viento: los valores de erosividad para el periodo húmedo variaron entre 8 y 200, dominando la clase ligera. Para la época seca del año, éstos oscilaron entre 140 y 1660, dominando la clase muy alta. Estos valores produjeron un mayor riesgo de erosión en comparación con los datos obtenidos al considerar la magnitud mínima del viento.

De la evaluación de erosión, se observó la presencia de sólo dos clases de riesgo: severo y extremo, la primera se distribuyó en 10% del estado

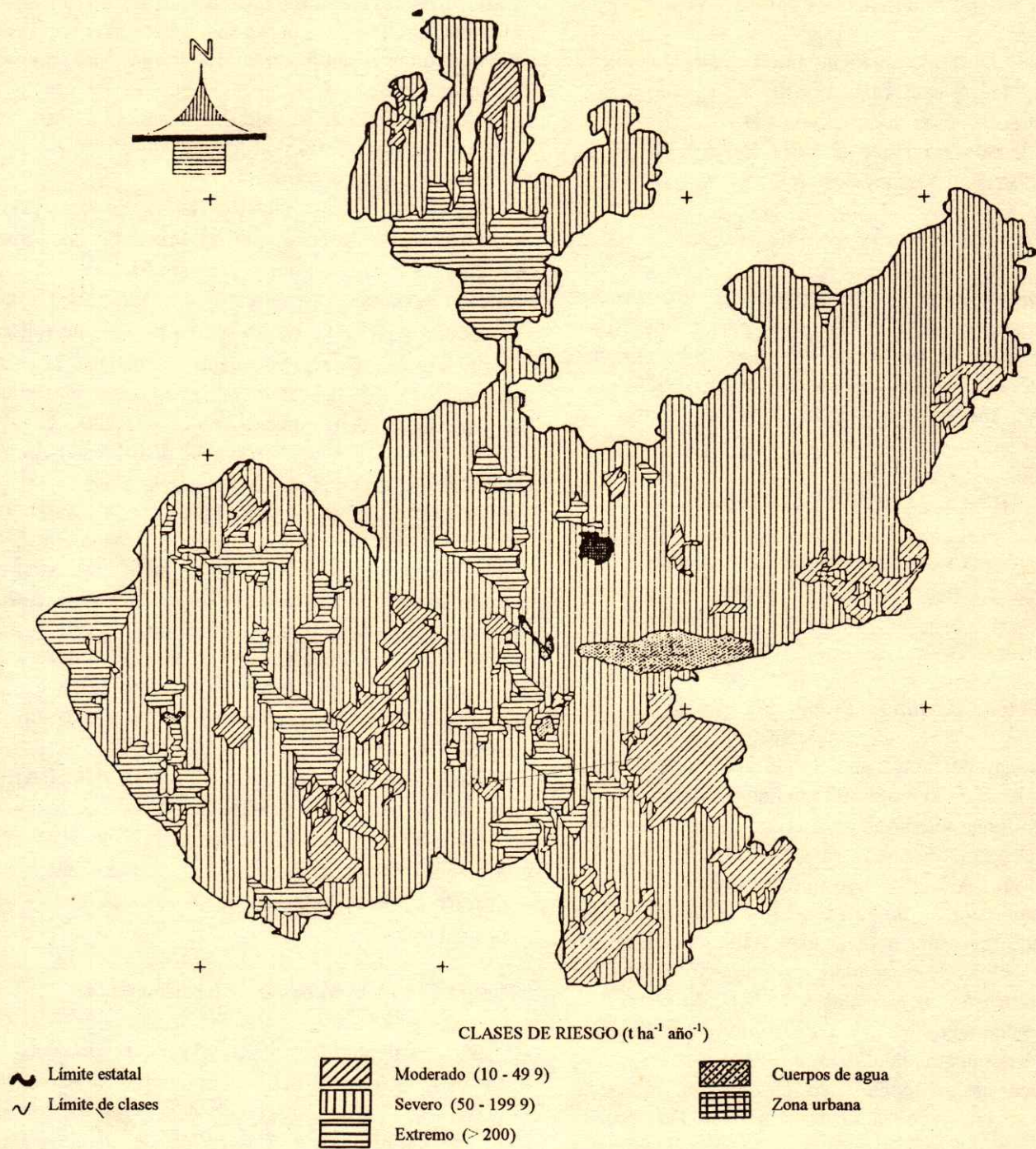


Figura 1. Riesgo mínimo a la erosión eólica en Jalisco.

(720 280) y la segunda en 89% de la entidad (7 167 386).

La distribución de las clases de riesgo se muestran en la Figura 2, donde se observa que el grado de afectación extremo se presenta en casi todo el territorio estatal. Por otra parte, la clase de riesgo severo se

ubica principalmente en el sureste, este, sur y pequeñas porciones cerca de la región central y noroeste de la entidad.

Con base en los resultados obtenidos se pudo apreciar que la superficie de cada clase varía en la medida que aumenta la magnitud del viento. La superficie de la

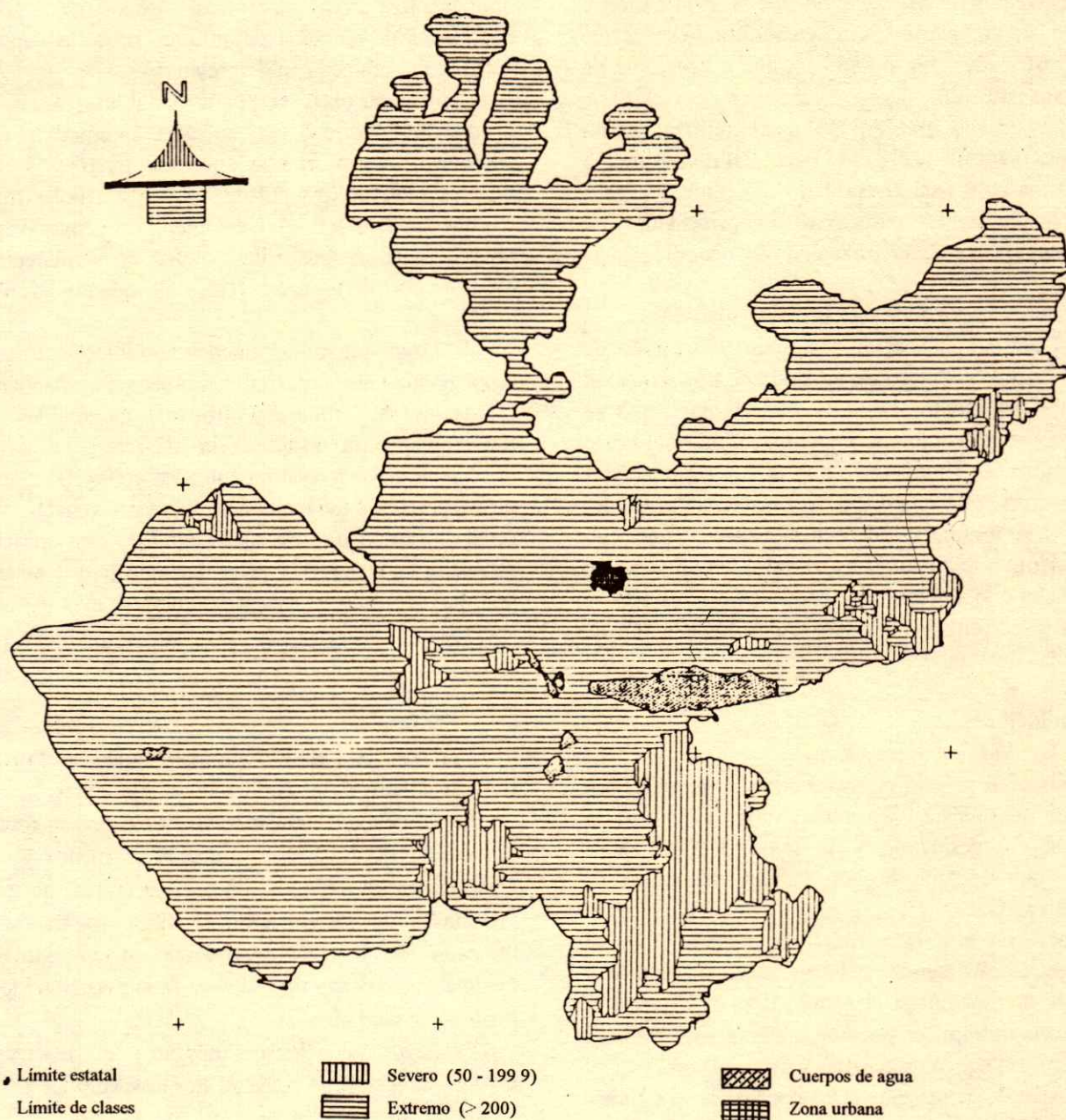


Figura 2. Riesgo máximo a la erosión eólica en Jalisco.

de riesgo moderado, disminuye conforme la velocidad del viento se incrementa, así se tuvo que la superficie que ocupó esta clase de riesgo moderado en el riesgo mínimo de erosión eólica fue de 10% de la superficie del estado y en el riesgo máximo de erosión ya no se encontró.

cuanto a la clase de riesgo extremo, se observó un comportamiento contrario al de la clase moderada y es decir, la superficie que ocupó esta clase se incrementó de manera considerable conforme aumentó la velocidad del viento, de tal forma que en el riesgo

máximo ocupó 89% de la superficie de Jalisco. La diferencia que existió de esta clase, entre el riesgo mínimo (9%) y el riesgo máximo (89%) fue de 80%.

Utilidad del Conocimiento Obtenido

En el presente estudio se generaron mapas de riesgo potencial de erosión eólica que pueden servir como herramienta para la planeación de gastos de inversión en medidas de acción para la prevención de

eventos extremos de degradación por erosión eólica y funcionan como alerta para vislumbrar escenarios futuros provocados por el uso excesivo e irracional de los recursos naturales.

Además, dicho material se puede utilizar como patrón para determinar el grado potencial de afectación de la erosión eólica en la entidad bajo estudio y para planear donde deben enfocarse las prioridades de investigación para la realización de estudios más detallados.

Los resultados de este trabajo manifiestan el peligro al que se encuentran los suelos del estado de Jalisco; es decir, el riesgo de erosionarse por la acción degradante del viento. Esto da motivo para que se recapacite sobre la diferencia que existe entre el costo social, ambiental y monetario que pudiera representar el prevenir, controlar o rehabilitar un terreno afectado, cuyo gasto se incrementa de acuerdo con las acciones que se quieran implementar; es menor el de prevención. Además, con el conocimiento vertido en este escrito se proporciona un criterio para seleccionar las medidas de acción más convenientes.

Recomendaciones

El uso de este tipo de resultados requiere de un cambio de actitudes en los encargados de realizar la planeación del desarrollo y la toma de decisiones, debido a que necesita de un análisis visionario de ambientes extremos.

De acuerdo con los grados de riesgo potencial detectados, es recomendable fomentar un mejor uso y manejo de los suelos en el estado de Jalisco, con la finalidad de mitigar el posible impacto que pudiera tener la erosión eólica a mediano y largo plazos.

El diseño de estrategias debe considerar el conocimiento tradicional que el productor posee acerca de la erosión eólica, su prevención y control con fines de conservación, de esta manera se establece la técnica más adecuada desde un punto de vista social, tecnológico y ecológico.

Dentro de las prácticas que se pueden realizar, se tiene: (a) la modificación de la dirección de labranza y surcado, considerando el sentido de la pendiente del terreno y la dirección dominante del viento para amortiguar la acción erosiva del viento; (b) el uso de abonos verdes, la incorporación de residuos de cosecha y la rotación de cultivos, para mejorar la estabilidad de agregados y estructura del suelo; y c) el uso de

implementos que permitan mantener grandes cantidades de residuos de cultivos sobre la superficie del suelo y reduzcan su disgregación.

A mediano plazo se pueden establecer sistemas de producción basados en cultivos interactivos (agrosilvícolas) como plantaciones de maguey y maíz; árboles maderables y cultivos anuales; árboles frutales y cultivos anuales. Así también, esquemas vegetal-animal (agrosilvopastoriles), como la introducción de especies forrajeras entre restos de bosque y cultivos anuales.

A largo plazo se pueden establecer zonas de amortiguamiento y barreras rompevientos mediante la plantación de árboles y arbustos maderables y no maderables para disminuir la magnitud del viento y desviar la dirección dominante; así como, la reducción de la presión humana sobre la masa vegetal. Como criterio técnico para la planeación de estas prácticas, se puede considerar la prioridad que tienen las zonas con mayor grado de riesgo potencial y mayor impacto social.

CONCLUSIONES

Con base en los resultados obtenidos en el presente trabajo se indican las conclusiones siguientes.

La situación diagnosticada refleja que la totalidad del estado de Jalisco es afectada al menos por una clase de riesgo potencial de erosión eólica; no existen las clases de riesgo nulo, ni bajo, lo cual es un indicador de la urgencia con que se deberían tomar medidas de acción dirigidas a la prevención de este proceso de degradación.

Respecto al riesgo mínimo, se observó la predominancia de la clase de riesgo severo en 80%, en orden de importancia le siguieron la clase de riesgo moderado, en 10%, y el riesgo extremo, en 9% de la superficie total de Jalisco.

Con base en el riesgo máximo, sólo se presentaron las clases de riesgo severo y extremo; esta última dominó 89% del área estatal.

LITERATURA CITADA

- Amante O., A. 1989. Variabilidad espacial y temporal de la erosión eólica. Tesis de Maestría en Ciencias. Centro de Edafología, Colegio de Postgraduados, Montecillo, México.
- Chaidez B., R. 1990. Evaluación de la degradación del suelo por erosión hídrica en el estado de Jalisco. Tesis de

- Licenciatura. Departamento de Suelos, Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México.
- Chepil, W.S., F.H. Siddoway, y D.V. Armbrust. 1962. Climatic factor for estimating wind erodibility farm fields. *J. of Soil and Water Conservation* 17(4): 162-165.
- Colegio de Postgraduados. 1982. Manual de conservación del suelo y del agua. 2a. ed. CP. DGCSA, SARH. Chapingo, México.
- FAO. 1980. Metodología provisional para la evaluación de la degradación de los suelos. FAO/UNEP/UNESCO. Roma, Italia.
- FAO. 1984a. Metodología provisional para la evaluación y representación cartográfica de la desertización. Roma, Italia.
- FAO. 1984b. Proteger y producir. Conservación del suelo para el desarrollo. Roma, Italia.
- García S., J. 1976. Erosión eólica. Dirección General de Monte, Caza y Pesca Pluvial. Instituto Forestal de Investigaciones y Experiencias. Madrid, España.
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. 1990. Resultados preliminares del XI Censo General de Población y Vivienda 1990. INEGI. Aguascalientes, Ags. México.
- Ortiz, S., C. A. y E. Cuanalo de la C. 1984. Metodología del levantamiento fisiográfico. Un sistema de clasificación de tierras. 2a. ed. Centro de Edafología, Colegio de Postgraduados, Chapingo, México.
- Ortiz S., M de la L.M. y J.W. Estrada B. 1991. Evaluación y cartografía de la erosión eólica en la República Mexicana. Cuaderno de Edafología 19. Centro de Edafología, Colegio de Postgraduados. Montecillo, Estado de México.
- Secretaría de Programación y Presupuesto. 1981. Síntesis geográfica del Estado de Jalisco. Anexo cartográfico. SPP. México, D.F.
- Tovar S., H. M. 1986. Erosión eólica: una medición de campo en Zacatecas-San Luis Potosí. Tesis de Licenciatura. Departamento de Zonas Áridas, Universidad Autónoma Chapingo, Chapingo, México.
- Shields, J.A. y D.R. Coote. 1989. SOTER: Procedures manual for small-scale map and database compilation. ISRIC. Wageningen, The Netherlands.
- Wilson, S. J. y R.U. Cooke. 1984. Wind erosion. In: Kirkby, M. J. and R.P.C. Morgan (eds). Soil erosion. Wiley. Chichester, Great Britain.
- WMO. 1983. Meteorological aspects of certain processes affecting soil degradation-especially erosion. Technical Note no.178. WMO. Geneva, Switzerland.
- Zarate Z., R. 1992. Mapa preliminar de erosividad eólica para el Estado de Jalisco. p. 125-134. In: Memorias del XIII Congreso Nacional de Geografía. Tomo 1. Cd. de Aguascalientes, Ags., del 27 al 29 de mayo de 1992. México.

DESARROLLO Y SITUACION ACTUAL DE LA NUTRICION VEGETAL EN MEXICO

Development and Present Situation of Plant Nutrition in Mexico

G. Alcántar González, M. Sandoval Villa y P. Sánchez García¹

RESUMEN

Index words: Plant nutrition, proceedings, Mexican Society of Soil Science.

La disciplina de la Nutrición Vegetal es relativamente reciente en México, ya que su inicio data de hace solamente 22 años. A pesar de que la investigación en nutrición de cultivos se ha incrementado en la última década, todavía deben hacerse mayores esfuerzos para difundir la importancia de esta especialidad en el agro mexicano, ya que son pocos los temas que se han abordado y la mayoría de las investigaciones que se han realizado son sobre cultivos básicos y árboles frutales; muy poca atención han recibido las hortalizas y menos aún las plantas forrajeras y ornamentales. Además, la investigación en nutrición vegetal se ha desarrollado de forma consistente solamente en algunos estados, mientras que en otros ha sido escasa o francamente nula. Solamente cinco instituciones nacionales han demostrado un trabajo constante en esta disciplina.

Palabras claves: Nutrición vegetal, memorias, Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo.

SUMMARY

Plant Nutrition was formally established 22 years ago in Mexico. Research in crop nutrition has increased in the last decade, nevertheless it is still necessary to increase efforts to diffuse the importance of this discipline among farmers and technicians. Only a few topics of plant nutrition have been studied; most of the research has been focused to grain crops and fruit trees, minor attention has been paid to vegetable crops and even less to forage and ornamentals. Furthermore, research in plant nutrition has been only developed in a few states of the Mexican Republic and in some others it has been limited or absent. Finally, only five Mexican institutions have shown continued work on this subject.

¹ Nutrición Vegetal, PROEDAF, IRENAT, Colegio de Postgraduados, 56230 Montecillo, México.

Aceptado: Junio de 1996.

INTRODUCCION

La Nutrición Vegetal en México, como una disciplina formal, inicia en 1974 con la fundación de la Sección de Nutrición Vegetal de la Rama de Suelos del Colegio de Postgraduados y con la impartición, en ese año, del curso del mismo nombre para estudiantes de postgrado. A pesar de que anteriormente a esa fecha se trataba el tema de Nutrición Vegetal como un capítulo dentro de los cursos de Fisiología Vegetal en algunas Universidades y Escuelas de Educación Superior, fue hasta 1974 que esa disciplina comenzó a desarrollarse con ese nombre en nuestro país.

Frecuentemente, resulta difícil establecer una línea divisoria entre las disciplinas de Nutrición Vegetal y de Fertilidad de Suelos, ya que numerosos temas, como los métodos de diagnóstico, la fertilización foliar y otros, son de un interés compartido. En los primeros congresos de la Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo A.C. (SMCS), los trabajos de investigación sobre Nutrición Vegetal y Fertilidad de Suelos se presentaban en una misma División o Mesa de Trabajo y fue hasta principios de los años 70 cuando la temática de la Nutrición Vegetal se abordó de forma independiente.

Esta recopilación, que fue presentada como resumen en el XXVI Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo en Ciudad Victoria, Tamaulipas, en 1995, surge como una respuesta a la necesidad de establecer la situación real en la que se encuentra actualmente la Nutrición Vegetal en México, para lo cual era necesario rescatar la información existente y analizarla sistemáticamente. La fuente única de consulta fueron las memorias de los congresos de la SMCS, incluyendo artículos *in extenso* y resúmenes, que al ser clasificados resultaron un material valioso para ubicar el estado actual del desarrollo de esa disciplina en México. La información aquí presentada permitirá, al menos parcialmente, identificar la problemática de tipo

nutricional más importante en las diferentes regiones de la República Mexicana, conocer que subtemas de la Nutrición Vegetal han sido los más estudiados y en que tipo de cultivos, así como ubicar a las instituciones y a los investigadores que dedican su esfuerzo a resolver el complejo problema de la Nutrición de Cultivos en este país.

MATERIALES Y METODOS

Se consultaron y analizaron las memorias de los congresos de la SMCS desde 1963 (Chapingo) hasta 1992 (Acapulco), de donde se obtuvo la información que, a consideración de los autores, forma parte de la temática de la Nutrición Vegetal. Con ella se alimentó una base de datos con los siguientes campos: autor, título (tema), año, estado, institución, cultivo y nutrimento(s) estudiado(s). Posteriormente se agruparon los trabajos conforme con los criterios anteriores, con lo cual se establecieron las tendencias que se presentan en el siguiente capítulo bajo la forma de gráficas y cuadros.

RESULTADOS Y DISCUSION

En el año de 1963 aparecen los primeros trabajos de Nutrición Vegetal en las Memorias de los Congresos Nacionales de la Ciencia del Suelo, sin embargo, estos trabajos fueron clasificados y presentados en el Area de Fertilidad de Suelos. En los primeros años, las contribuciones a la disciplina de la Nutrición Vegetal fueron pocas y sin mostrar en número una tendencia definida. A partir de 1970 se ubicaron en forma separada los trabajos de Nutrición Vegetal, tanto para las presentaciones orales como para su agrupación en las memorias. Los altibajos en las aportaciones continuaron por varios años y fue hasta 1986 cuando se incrementó el número de reportes en forma consistente (Figura 1). En 1989 se redujeron considerablemente los trabajos presentados, debido posiblemente a las medidas de austeridad implantadas por el gobierno federal como consecuencia de la crisis económica de 1988. En los años subsecuentes se incrementó notablemente la aportación en esta disciplina de los investigadores mexicanos y en 1992 se alcanzó la cifra récord de 56 trabajos.

Las aportaciones presentadas en los congresos, en el mismo período, ordenadas en forma decreciente de acuerdo con la temática de su contenido, fueron como

Número de trabajos

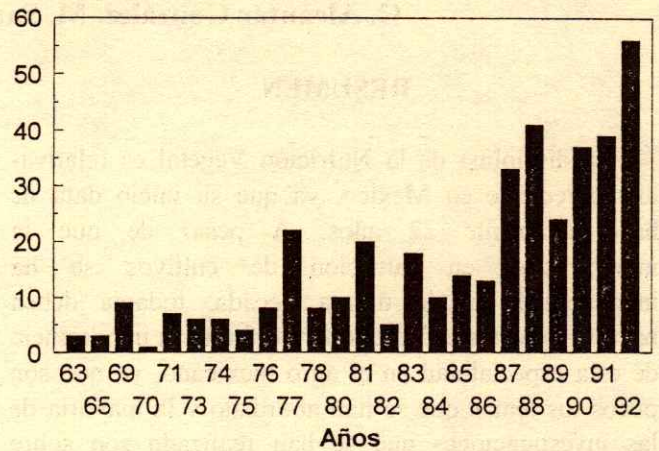


Figura 1. Trabajos de Nutrición Vegetal presentados anualmente en los congresos de la SMCS.

sigue (Cuadro 1): Nutrición de Cultivos (NC), Diagnóstico Nutrimental (DN), Dinámica Nutrimental (DIN), Fisiología de la Nutrición de Cultivos (FNC), Sistema de Diagnóstico y Recomendación Integrados (DRIS), Cultivos Hidropónicos (CH), Clorosis Férrica (CF), Adaptabilidad a Presiones Nutrimentales (APN) y Fertilización Foliar (FF).

Es evidente que algunos temas, con numerosos antecedentes y más amplia difusión en México, han sido los de mayor interés, como es el caso de Nutrición de Cultivos (NC) y Diagnóstico Nutrimental (DN), los cuales representan más de 40% de los trabajos realizados, mientras que sobre temas como Adaptación a las Presiones Nutrimentales (APN) y Fertilización Foliar (FF) es muy escaso (11% del total) lo reportado a la fecha.

En cuanto a los cultivos que más frecuentemente han sido motivo de estudios de nutrición vegetal, resulta claro (Cuadro 2) que el mayor interés en los casi 30 años de esta investigación, se ha dirigido hacia los cultivos básicos (46%), principalmente maíz y frijol; los árboles frutales (38%), especialmente nogal pecanero, manzano y naranjo; y en menor grado las hortalizas (12%), en particular tomate; verdaderamente aislados son los reportes sobre plantas forrajeras (2%) y ornamentales (2%).

A partir de 1987 se observó un incremento considerable en el número de trabajos realizados, y presentados en los congresos de la SMCS, sobre Nutrición Vegetal, con un total de 201 ponencias, orales o en cartel, lo cual representa más de 50% del total reportado desde 1963. Lo anterior permitiría

Cuadro 1. Distribución de las investigaciones presentadas por temas en los congresos de la SMCS en el periodo 1963-1992.

Subárea	NC	DN	DIN	FNC	DRIS	CH	CF	APN	FF	Total
Número	80	61	56	52	41	34	31	27	19	401

Cuadro 2. Estudios de Nutrición Vegetal por grupos de cultivos reportados en los congresos de la SMCS de 1963 a 1992.

Tipo de cultivo	Trabajos presentados	%
Cultivos Básicos	164	46
Maíz	48	
Frijol	20	
Soya	19	
Trigo	18	
Sorgo	15	
Caña de azúcar	12	
Otros	32	
Frutales	135	38
Nopal pecanero	18	
Manzano	15	
Naranja	14	
Aguacate	12	
Vid	12	
Mango	10	
Limón	9	
Otros	45	
Hortalizas	43	12
Tomate	16	
Pepino	6	
Chile	5	
Papa	5	
Fresa	4	
Otros	7	
Forrajeras	7	2
Ornamentales	7	2
Total	356†	100

†El total no coincide con los de la Figura 1 y Cuadro 1 porque la diferencia en este son trabajos de laboratorio (métodos analíticos).

suponer que a partir de 1987 la Nutrición Vegetal en México ha iniciado un importante período de auge, sin embargo, a pesar de que el incremento en esta actividad es alentador y significativo, la investigación en este campo dista mucho de ser la que requiere el desarrollo agrícola del país.

Solamente tres estados de la República, el estado de México y la región de La Laguna, Durango y Coahuila conjuntamente, han contribuido con 27.5% de la información generada en esta especialidad, sin

Cuadro 3. Trabajos de Nutrición Vegetal presentados en los cinco congresos anteriores de la SMCS por estado de la República (1988 a 1992).

Estado	Número de trabajos	%
Baja California Norte	4	2.0
Chiapas	1	0.5
Chihuahua	8	4.0
Distrito Federal	1	0.5
Estado de México	28	14.0
Guerrero	3	1.5
Guanajuato	5	2.5
Jalisco	1	0.5
La Laguna (Durango y Coahuila)	27	13.5
Morelos	10	5.0
Nayarit	2	1.0
Nuevo León	3	1.5
Puebla	9	4.5
Quintana Roo	1	0.5
San Luis Potosí	10	5.0
Sinaloa	5	2.5
Sonora	13	6.5
Tabasco	2	1.0
Tamaulipas	3	1.5
Tlaxcala	3	1.5
Veracruz	9	4.5
Zacatecas	1	0.5
Invernadero/Laboratorio	52	26
Total	201	100

embargo, otros estados, de una importancia agrícola sobresaliente, como Baja California Norte, Chihuahua, Guanajuato, Jalisco, Morelos, Nuevo León, Sinaloa, Sonora, Tamaulipas y Zacatecas, han tenido muy poca participación con sus aportaciones, al menos en los congresos de la SMCS 1988-1992, para el desarrollo de la Nutrición Vegetal en México (Cuadro 3). Es importante señalar que algunas entidades federativas no reportaron resultados de investigaciones sobre Nutrición Vegetal en ese período, y si lo hicieron, fue en otros foros distintos; tal es el caso de Aguascalientes, Baja California Sur, Campeche, Colima, Hidalgo, Michoacán, Oaxaca y Querétaro.

Cuadro 4. Trabajos de Nutrición Vegetal presentados en los cinco congresos anteriores de la SMCS por instituciones (1988 a 1992).

Institución	1988	1989	1990	1991	1992	Total
U. A. Chihuahua	1		1	1	2	5
INIFAP	17	9	16	13	17	72
CP	14	14	8	7	12	55
UANL				2	2	4
ITSON		2	1		2	5
UACH	6	2	6	9	10	33
UNAM	1				1	2
ITA22 (SLP)					1	1
U. A. Tamaulipas				1	1	2
ITESM					1	1
UAAAAN			4	1	2	7
UAM			1		1	2
DGTA (Ags)					2	2
CSAEGRO					1	1
U. Veracruzana		1		1		2
U. A. SLP				1		1
ITA 10 (Torreón)			1			1
Sauza			1			1
IMECAFE		1				1
ENCB		1				1
CEMEXI		2				2
Total						201

Finalmente, de las 21 instituciones que se han registrado con contribuciones en el campo de la Nutrición Vegetal (Cuadro 4), durante los congresos de la SMCS de 1988 a 1992, la mayoría han presentado resultados de investigación de forma poco consistente (menos de cinco ponencias en el período) y únicamente se ha documentado la participación constante y continua de cinco instituciones a nivel nacional, las cuales, en orden decreciente del número de sus contribuciones, son: Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), Colegio de Postgraduados de Montecillo, Edo. de México, Universidad Autónoma Chapingo (UACH), Instituto Tecnológico de Sonora (ITSON) y Universidad Autónoma de Chihuahua.

En un país como México, en el que gran parte de su actividad económica depende de la agricultura, resulta preocupante la escasa generación de tecnología propia respecto a la Nutrición de Cultivos, lo cual se puede apreciar en el limitado número de trabajos de investigación realizados en el transcurso de 30 años. En un sector tan importante como es la producción de hortalizas, apenas se han reportado 43 estudios sobre nutrición. Esta cifra establece claramente que no existen suficientes estudios para caracterizar a esos cultivos, respecto a sus necesidades nutrimentales o

para conocer su estado nutrimental. Es alarmante el caso de las especies ornamentales y forrajeras en las cuales el número de reportes deja al descubierto un total desconocimiento del aspecto nutrimental en esos cultivos, al menos para las condiciones de México.

CONCLUSIONES

Del análisis de los resultados de esta investigación, se concluye que anualmente se realizan pocos estudios en el Área de Nutrición Vegetal, así como que en ciertas sublíneas se concentra el mayor interés y se descuida el desarrollo de otras. Finalmente, existen cultivos como los ornamentales y los forrajeros en los que prácticamente no se realiza investigación en Nutrición Vegetal en México.

Un aspecto importante que el lector debe tomar en cuenta es que la disciplina de la Nutrición Vegetal es un resultado que surge y se alimenta de la interacción de otras disciplinas de las ciencias del suelo y de las ciencias biológicas en general, como se ilustra en la Figura 2, por lo que se torna difícil, y en ocasiones imposible, establecer hasta donde un tema en particular debe ubicarse en la microbiología de suelos, la química de suelos, la fertilidad de suelos, la fisiología vegetal o la nutrición vegetal.

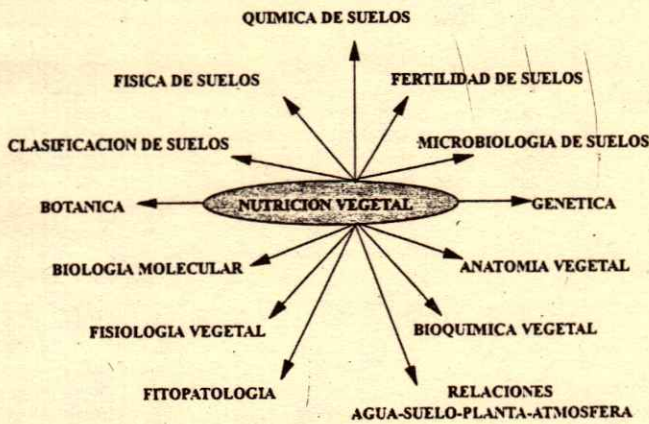


Figura 2. Relación de la Nutrición Vegetal con otras disciplinas.

Es conveniente resaltar que la información aquí analizada se refiere única y exclusivamente a trabajos de investigación que han sido presentados en los congresos de la SMCS en el período señalado. Seguramente, en las reuniones de otras asociaciones científicas, agrupaciones locales o institutos de investigación se han expuesto y discutido resultados de investigación que podrían tener cabida en el ámbito de la Nutrición Vegetal, sin embargo, la poca difusión y el difícil acceso a esos materiales limitan su inclusión en el presente análisis, lo cual sería, sin lugar a dudas, muy valioso.

LITERATURA CITADA

Memorias de los Congresos Nacionales de la Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo. 1963-1992.

EL TÍTULO DE UN ARTÍCULO CIENTÍFICO Y LAS PALABRAS CLAVE

Antes de entrar en materia, quiero señalar que en mi nota anterior (Terra 14: 124-127), titulada: "El Sistema Internacional de Unidades", aparece un error en el inciso c) de la segunda columna, página 126; en lugar de $1 \text{ mmho/cm} = 1 \text{ mS/m}$, debe decir $1 \text{ mmho/cm} = 1 \text{ mS/cm} = 1 \text{ dS/m}$.

El Título

El artículo científico, al igual que otros documentos técnicos, debe tener un título claro, explícito, que guíe al posible lector, que atraiga su atención, que le informe sobre el contenido del artículo. Debe considerarse que mucha gente leerá sólo el título, por lo tanto es importante que éste contenga la mayor información con las menores palabras posibles, sin embargo, no por buscar la brevedad de un título se pierda calidad en su contenido. Además, otra razón para cuidar la selección de un título es que en la actualidad existen numerosos servicios computarizados de información bibliográfica (Agris Index, por ejemplo) que utilizan las palabras de éste como entradas al artículo.

Es recomendable que el título presente las siguientes características:

- Congruencia con el contenido del artículo.
- Brevedad, precisión y claridad: de 10 a 15 palabras. Sin embargo, no por ser breve debe ser impreciso.
- No empezar con palabras de bajo impacto como son: "Influencia de...", "Efecto de...", "Estudio de...", "Contribución al conocimiento de..."; ni con los artículos "Un...", "Una...", "El..." ni "La..."
- No contener abreviaturas, fórmulas químicas ni nombres de marcas registradas (nombres comerciales).
- Emplear únicamente términos usuales o actualmente en uso.
- En cuanto a nombres científicos, por economía de espacio se recomienda usarlos sólo cuando el organismo no tiene un nombre común o éste es poco conocido.
- Cuidar el orden de las palabras. En algunos casos, el problema del título radica en un orden inapropiado de las palabras.

En seguida se presentan algunos títulos que pueden modificarse para una mejor presentación:

1. Efectos en el rendimiento de alfalfa (*Medicago sativa* L.), cebada (*Hordeum vulgare* L.) y lechuga (*Lactuca sativa* L.) a nivel de invernadero por la aplicación de distintas dosis de surfactantes aniónicos en tres suelos distintos.

Del título anterior puede señalarse lo siguiente: a) es demasiado largo, 32 palabras; b) presenta palabras que no añaden ningún significado particular, por ejemplo: efectos, nivel, distintas; c) no es necesario escribir los nombres científicos; d) mencionar que se trabajó con tres suelos puede hacerse en Materiales y Métodos y en el Resumen, además, si son tres suelos tienen que ser distintos. Una sugerencia para mejorar el título anterior, es la siguiente:

Aplicación al suelo de surfactantes aniónicos y rendimiento de alfalfa, cebada y lechuga.

2. El uso de isotermas de adsorción de P para la recomendación de la fertilización fosfatada. I. Isotermas de adsorción en suelos del ejido "Benito Juárez", Zac.

Respecto al título anterior, se puede señalar lo siguiente: a) es largo, puede reducirse sin afectar su idea principal; b) suena cacofónico, se repite varias veces la terminación -ción; c) repite las palabras isotermas de adsorción; d) el lugar donde se realizó el trabajo puede señalarse en Materiales y Métodos. A continuación se presenta una sugerencia para modificar el anterior título:

Uso de isotermas de adsorción de P para estimar dosis de fertilización fosfatada.

3. Estudio de nueve mezclas, producto de la combinación de las especies forrajeras; triticale (*X. Triticosesale* Wittmack), ballico anual (*Lolium multiflorum* L.) y avena (*Avena sativa*); bajo diferentes niveles de nitrógeno en un suelo de la Comarca Lagunera.

El título anterior es extenso, presenta palabras que no dicen gran cosa; por ejemplo, estudio de, nueve, diferentes, etc. Los nombres científicos pueden omitirse y señalarse en otra parte (Introducción o Materiales y Métodos), así como también el lugar en donde se desarrolló el trabajo. Una recomendación para reescribir este título sería la siguiente:

Producción de forraje de mezclas de triticale, ballico anual y avena, en respuesta al nitrógeno.

Quizás uno de los problemas más comunes en el título es el ser extenso, sin embargo, también suele presentarse el caso contrario: ser corto (y generalmente incompleto). Por ejemplo, el título:

Evaluación de cruza simples intermedias en la región centro de Jalisco,

no señala con que cultivo o animal se desarrolló el trabajo. Además, el término evaluación es vago, podría indicarse qué se evaluó (rendimiento de grano, rendimiento de forraje, etc.). Si se tratara de varias variables o características, éstas podrían agruparse en algún término más general.

Además de la extensión, un problema común en el título es la falta de concordancia con el contenido del trabajo. En ocasiones, el título ofrece más de lo que el artículo contiene o, a la inversa, minimiza su contenido.

Las palabras clave

Las palabras clave tienen el objetivo de servir como entradas del artículo en sistemas computacionales de información bibliográfica, herramienta que actualmente es de gran importancia para el científico en busca de información.

Muchas revistas requieren que el autor señale palabras clave de su artículo. En tal caso, el autor debe proponer como palabras clave aquellos términos más importantes y específicos que aparezcan en su trabajo y debe evitar el uso de palabras vagas o de difícil interpretación. Asimismo, se recomienda que las palabras clave sean distintas de las que aparecen en el título, pues éstas de antemano son consideradas "palabras clave": el usar las palabras del título como

palabras clave, significa reducir las posibles entradas al artículo.

El número de palabras clave varía de acuerdo con la revista, generalmente de cinco a 20. Se recomienda incluir en las palabras clave nombres comunes o científicos de especies, nombres comunes de sustancias químicas y términos agronómicos, fisiológicos, patológicos, etc.

Bibliografía

- Alvarado L., J. 1995. Redacción y preparación del artículo científico. Publicación Especial 2. Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo. Chapingo, México.
- American Society of Agronomy, Crop Science Society of America, and Soil Science Society of America. 1988. Publications handbook and style manual. ASA, CSSA, and SSSA. Madison, Wisconsin, USA.
- CBE Style Manual Committee. 1983. CBE style manual: a guide for authors, editors, and publishers in the biological sciences. 5th ed. rev. and expanded. Council of Biology Editors. Bethesda, Maryland, USA.
- Ebel, H. F., C. Bliefert, and W.E. Russey. 1990. The art of scientific writing: from student reports to professional publications in chemistry and related fields. VCH Verlagsgesellschaft. Weinheim, Federal Republic of Germany.
- Samper, A. 1988. Estructura lógica del artículo científico agrícola. pp. 49-70. In: C. J. Molestina (comp.). Fundamentos de comunicación científica y redacción técnica. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura. San José, Costa Rica.

Jorge Alvarado López

DIVISION III

Aplicaciones prácticas de la teoría del movimiento del agua en suelos bajo riego y drenaje
YURI NIKOLSKI 301

Maize proximity and pruning effects on nutrient composition of plum trees growing under rainfed agriculture
JOSE I. CORTES FLORES
RANFERI MALDONADO TORRES
JORGE D. ETCHEVERS BARRA
ANTONIO TURRENT FERNANDEZ 313

Cuantificación de biomasa y actividad microbiana en suelos agrícolas del estado de Hidalgo
ANA MA. ESTRADA BARBA
TEODORO GUTIERREZ CASTREJON 319

Estudio comparativo de la eficiencia de uso y absorción de fósforo, a partir de fertilizantes fosfóricos, por genotipos chilenos de trigo
F. ZAPATA
I. PINO
P. BAHERLE
A. M. PARADA 325

Producción de melón en suelos mejorados con leguminosas, sorgo forrajero y residuos de malezas
OCTAVIO PEREZ ZAMORA 331

Riesgo potencial de erosión eólica en el estado de Jalisco, México
RAFAEL ZARATE Z.
HILARIO DE LA CRUZ M. 339

**COMENTARIOS
Y CARTAS
AL EDITOR**

Desarrollo y situación actual de la nutrición vegetal en México
G. ALCANTAR GONZALEZ
M. SANDOVAL VILLA
P. SANCHEZ GARCIA 349

El título de un artículo científico y las palabras clave
J. ALVARADO L. 355