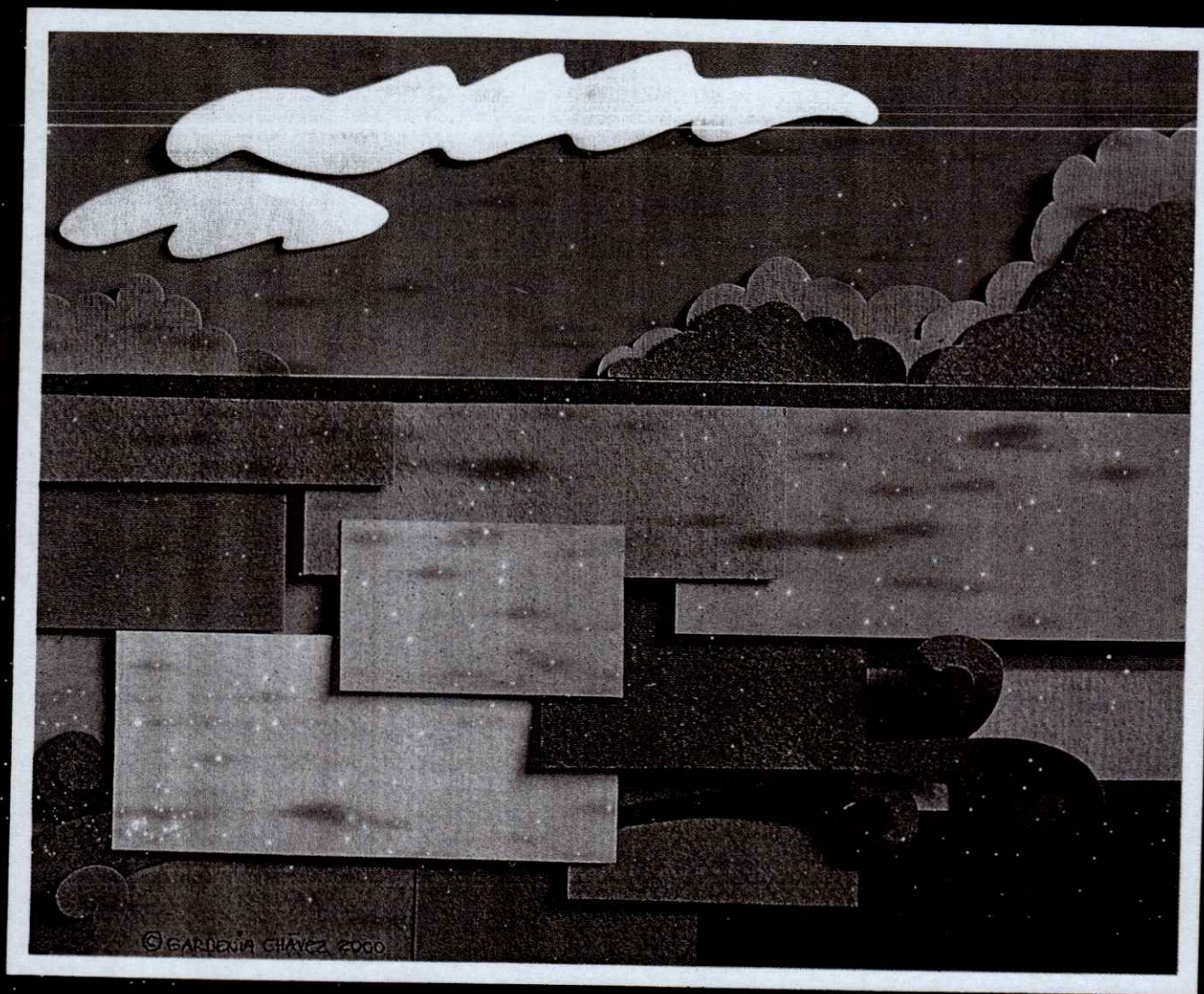


ISSN 0187-5779

TERRA

ENERO - MARZO DE 1999 • VOLUMEN 17 • NUMERO 1



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

TERRA

SOCIEDAD MEXICANA DE LA CIENCIA DEL SUELO A.C.

MESA DIRECTIVA 1997-1999

Presidente

Vicepresidente

Secretario General

Tesorero

Secretario Técnico

Secretario de Relaciones Públicas

Secretario de Eventos Nacionales

e Internacionales

Vocal

Vocal

Dr. Víctor M. Ordaz Chaparro

M.C. José Cisneros Domínguez

Dr. Prometeo Sánchez García

Dr. Fernando de León González

Dra. Edna Álvarez Sánchez

M.C. Ricardo Torres Cossío

M.C. Francisco Gavi Reyes

Biól. Rogelio Oliver Guadarrama

M.C. Gaspar Romero Hernández

EDITOR EN JEFE

EDITOR ADJUNTO

EDITORES TECNICOS

Dr. Andrés Aguilar Santelises

Dr. Javier Z. Castellanos

Dr. Gabriel Alcántar González

Dr. Víctor M. Ordaz Chaparro

Dr. Juan José Peña Cabriales

Dr. Xavier X. Uvalle Bueno

Dra. Edna Álvarez Sánchez

M.C. Jorge Alvarado López

EDITOR DE ESTILO

DIVISIONES Y DISCIPLINAS

División I: Diagnóstico, Metodología y Evaluación del Recurso Suelo

- Génesis, Morfología y Clasificación de Suelos
- Física de Suelos
- Química de Suelos
- Contaminación

División II: Relación Suelo - Clima - Biota

- Nutrición Vegetal
- Relación Agua - Suelo - Planta - Atmósfera
- Biología del Suelo
- Tecnología y Uso de Fertilizantes
- Uso y Manejo del Agua

División III: Aprovechamiento del Recurso Suelo

- Conservación del Suelo
- Drenaje y Recuperación
- Fertilidad
- Productividad de Agrosistemas

División IV: Educación y Asistencia Técnica

- Educación
- Crédito y Asistencia Técnica

TERRA registro en trámite.

Órgano Científico de la Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo A.C.
Enero - Marzo de 1999 Volumen 17 Número 1

ISSN 0187 - 5779

Los artículos publicados son responsabilidad absoluta de los autores. Se autoriza la reproducción parcial o total de esta revista, citándola como fuente de información. Las contribuciones a esta revista deben enviarse, en original y dos copias, redactadas conforme a las Normas para

Publicación en la Revista **TERRA** a:

Editor de la Revista **TERRA**, Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo A.C.
Apartado Postal 45, 56230 Chapingo, Estado de México, México.

Oficinas: Edificio del Departamento de Suelos
Universidad Autónoma Chapingo
56230 Chapingo, Estado de México.

Teléfono: +(595) 4 60 24 **Fax:** +(595) 4 80 76

EQUIPO EDITORIAL ADMINISTRATIVO

Ina Aalmers de Aguilar
Sofía Blancas Cando
Ricarda Torres Estrada
Gardenia Chávez Peña

Diseño de portada

EDITORES ASOCIADOS NACIONALES

Dr. Manuel Anaya Garduño
Dr. Jesús Caballero Mellado
Dr. Lenom J. Cajuste
Dr. Ronald Ferrera Cerrato
Dr. Benjamín Figueroa Sandoval
M.C. Margarita E. Gutiérrez Ruiz
Dr. Reggie J. Laird
Dr. Angel Martínez Garza
Dr. Roberto Núñez Escobar
Dr. Jesús Luis Oropeza Mota
M.C. Carlos Ortiz Solorio
Dr. Alejandro Velázquez Martínez
Dr. Enrique Palacios Vélez
Dr. Oscar L. Palacios Vélez
Dr. Benjamín V. Peña Olvera
Dr. Antonio Turrent Fernández

EDITORES ASOCIADOS INTERNACIONALES

Dr. Eduardo Besoain M. Chile
Dr. Winfried E. H. Blum Austria
Dr. Elmer Bornemisza Costa Rica
Dr. Luis Alfredo de León Colombia
Dr. Hari Eswaran E.U.A.
Dr. Anthony Fischer Australia
Dr. Juan F. Gallardo Lancho España
Dr. Renato Grez Z. Chile
Dr. Alberto Hernández Cuba
Dr. José M. Hernández Moreno España
Dr. Eric S. Jensen Dinamarca
Dr. Walter Luzio Leighton Chile
Dr. John T. Moraghan E.U.A.
Dr. Héctor J. M. Morrás Argentina
Dr. Christian Prat Francia
Dr. Parker F. Pratt E.U.A.
Dr. Paul Quantin Francia
Dr. José Rodríguez Chile
Dr. Carlos Roquero España
Dr. Karl Stahr Alemania
Dr. Bernardo Van Raij Brasil
Dr. Rafael Villegas Cuba
Dr. Eduardo Zaffaroni Brasil

TERRA

ENERO - MARZO DE 1999 • VOLUMEN 17 • NUMERO 1

DIVISION II

- 1 Efecto de portainjertos de manzano en la concentración nutrimental de la hoja en el cv. Starkspur Supreme Delicious.
Rafael A. Parra Quezada y A. Enrique Becerril Román
- 9 Efecto de la vermicomposta y la micorriza arbuscular en el desarrollo y tasa fotosintética de chile serrano.
M. J. Manjarrez-Martínez, R. Ferrera-Cerrato y M. C. González-Chávez
- 17 Interacción del nematodo *Meloidogyne chitwoodi* con tres especies de hongo *Glomus* sp. en la producción y distribución de materia seca de plantas jóvenes de maíz.
Elizabeth Estañol Botello, Ronald Ferrera Cerrato, Carlos Sosa Moss, J. Antonio Santizo Rincón y Roberto Quintero Lizaola
- 27 Interrelaciones entre variables del suelo y de las gramíneas en el pastizal semiárido del norte de Durango.
Raúl Serrato Sánchez, Celso Manuel Valencia Castro y Felipe del Río Olague
- 35 Balance hídrico en plantaciones jóvenes de *Eucalyptus globulus* y *Pinus radiata* en el sur de Chile.
Carlos E. Oyarzún y Anton Huber

DIVISION III

- 45 Factores que regulan la erosión hídrica en la cuenca del río Santa María, provincia de Catamarca, Argentina.
Rienzi, Eduardo Abel, Maggi, Alejandro Esteban, Navone, Stella Maris, Movia, Clara Pía
- 51 Contenido de humedad del suelo para decidir la siembra en agricultura de zonas áridas.
José Dimas López-Martínez y Jaime Guerrero Alvarado

ENSAYOS

59 Posibilidades técnicas de lograr la soberanía alimentaria de origen vegetal en México.

*Antonio Turrent Fernández, René Camacho Castro,
Néstor Francisco Nicolás, Sergio Uribe Gómez,
José Isabel Cortés Flores y Ricardo Mendoza Robles*

77 Agrodesia, metodología para la división de terrenos.
S. Pérez Nieto y F. R. Hernández Saucedo

TERRA

MEXICAN SOCIETY OF SOIL SCIENCE

President
Vicepresident
Secretary
Treasurer
Technical Adviser
Public Relations
National and International Events
Secretary
Voter
Voter

Dr. Víctor M. Ordaz Chaparro
M.C. José Cisneros Domínguez
Dr. Prometeo Sánchez García
Dr. Fernando de León González
Dra. Edna Alvarez Sánchez
M.C. Ricardo Torres Cossío

Dr. Francisco Gavi Reyes
Biól. Rogelio Oliver Guadarrama
M.C. Gaspar Romero Hernández

EDITOR-IN-CHIEF
ASSOCIATE EDITOR
TECHNICAL EDITORS

STYLE EDITOR

Dr. Andrés Aguilar Santelises
Dr. Javier Z. Castellanos
Dr. Gabriel Alcántar González
Dr. Víctor M. Ordaz Chaparro
Dr. Juan José Peña Cabriales
Dr. Xavier X. Uvalle Bueno
Dra. Edna Alvarez Sánchez
M.C. Jorge Alvarado López

DIVISIONS AND DISCIPLINES

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

- a) Soil Genesis, Morphology and Classification
- b) Soil Physics
- c) Soil Chemistry
- d) Pollution

Division II: Soil - Climate - Biota Relationship

- a) Plant Nutrition
- b) Water - Soil - Plant - Atmosphere Relationship
- c) Soil Biology
- d) Technology and Fertilizer Use
- e) Water Management and Use

Division III: Use of the Soil Resource

- a) Soil Conservation
- b) Drainage and restoration
- c) Soil Fertility
- d) Agrosystem Productivity

Division IV: Education and Technical Assistance

- a) Education
- b) Credit and Technical Advise

TERRA Registration pending
Scientific publication of the Mexican Society of Soil Science
January - March, 1999 Volume 17 Num. 1

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, Estado de México, México.

Office address: Edificio del Departamento de Suelos
Universidad Autónoma Chapingo
56230 Chapingo, Estado de México.

Telephone: +(595) 4 60 24 **Fax:** +(595) 4 80 76

EDITORIAL STAFF

Cover design

Ina Aalmers de Aguilar
Sofía Blancas Cando
Ricarda Torres Estrada
Gardenia Chávez Peña

NATIONAL ASSOCIATE EDITORS

Dr. Manuel Anaya Garduño
Dr. Jesús Caballero Mellado
Dr. Lenom J. Cajuste
Dr. Ronald Ferrera Cerrato
Dr. Benjamín Figueroa Sandoval
M.C. Margarita E. Gutiérrez Ruiz
Dr. Reggie J. Laird
Dr. Angel Martínez Garza
Dr. Roberto Núñez Escobar
Dr. José Luis Oropeza Mota
M.C. Carlos Ortiz Solorio
Dr. Alejandro Velázquez Martínez
Dr. Enrique Palacios Vélez
Dr. Oscar L. Palacios Vélez
Dr. Benjamín V. Peña Olvera
Dr. Antonio Turrent Fernández

INTERNATIONAL ASSOCIATE EDITORS

Dr. Eduardo Besoain M.	Chile
Dr. Winfried E. H. Blum	Austria
Dr. Elmer Bornemisza	Costa Rica
Dr. Luis Alfredo de León	Colombia
Dr. Hari Eswaran	U.S.A.
Dr. Anthony Fischer	Australia
Dr. Juan F. Gallardo Lancho	Spain
Dr. Renato Grez Z.	Chile
Dr. Alberto Hernández	Cuba
Dr. José M. Hernández Moreno	Spain
Dr. Eric S. Jensen	Denmark
Dr. Walter Luzio Leighton	Chile
Dr. John T. Moraghan	U.S.A.
Dr. Héctor J. M. Morrás	Argentina
Dr. Christian Prat	France
Dr. Parker F. Pratt	U.S.A.
Dr. Paul Quantin	France
Dr. José Rodríguez	Chile
Dr. Carlos Roquero	Spain
Dr. Karl Stahr	Germany
Dr. Bernardo Van Raij	Brazil
Dr. Rafael Villegas	Cuba
Dr. Eduardo Zaffaroni	Brazil

TERRA

JANUARY - MARCH, 1999 • VOLUME 17 • NUMBER 1

DIVISION II

- 1 Effect of apple rootstocks on foliar nutrient concentration in cv. Starkspur Supreme Delicious.
Rafael A. Parra Quezada and A. Enrique Becerril Román
- 9 Effect of vermicompost and mycorrhizal fungi on growth and photosynthetic rate of chili.
M. J. Manjarrez-Martínez, R. Ferrera-Cerrato, and M. C. González-Chávez
- 17 Interaction of the nematode *Meloidogyne chitwoodi* with three strains of the fungus *Glomus* sp. and the distribution of dry matter of young maize plants.
Elizabeth Estañol Botello, Ronald Ferrera Cerrato, Carlos Sosa Moss, J. Antonio Santizo Rincón, and Roberto Quintero Lizaola
- 27 Interrelations between soil and gramineous variables in semiarid grassland in the North of Durango.
Raúl Serrato Sánchez, Celso Manuel Valencia Castro, and Felipe del Río Olague
- 35 Water balance in young plantations of *Eucalyptus globulus* and *Pinus radiata* in Southern Chile.
Carlos E. Oyarzún and Anton Huber

DIVISION III

- 45 Regulatory factors of water erosion in Santa Maria river basin, Catamarca Province, Argentine.
Rienzi, Eduardo Abel, Maggi, Alejandro Esteban, Navone, Stella Maris, Movia, Clara Pía
- 51 Soil water amount to decide the planting time in dry land agriculture.
José Dimas López-Martínez and Jaime Guerrero Alvarado

ESSAYS

59 Technical possibilities of reaching selfsufficiency in food crops in Mexico.

*Antonio Turrent Fernández, René Camacho Castro,
Néstor Francisco Nicolás, Sergio Uribe Gómez,
José Isabel Cortés Flores, and Ricardo Mendoza Robles*

77 Agrodesy, methodology for land division.
S. Pérez Nieto and F. R. Hernández Saucedo

EFFECTO DE PORTAINJERTOS DE MANZANO EN LA CONCENTRACION NUTRIMENTAL DE LA HOJA EN EL cv. STARKSPUR SUPREME DELICIOUS

Effect of Apple Rootstocks on Foliar Nutrient Concentration in cv. Starkspur Supreme Delicious

Rafael A. Parra Quezada¹ y A. Enrique Becerril Román²

RESUMEN

Durante 1993 y 1994 se evaluó la concentración foliar de nutrimentos en el cv. Starkspur Supreme Delicious injertado sobre nueve portainjertos clonales y el Franco como testigo en Bachiniva, Chih. Se encontró que la concentración foliar de N y K no fue afectada por el portainjerto, mientras que para P, Ca, Mg, B, Fe, Cu, Zn y Mn se encontraron diferencias significativas. También se encontraron relaciones negativas significativas entre N, P, Ca y Mn con el volumen de copa, donde los portainjertos más vigorosos muestran las más bajas concentraciones foliares, como es el caso de Franco, EMLA.7 y EMLA.26. Los portainjertos menos vigorosos como P.22, MAC.1 y MAC.39, mostraron toxicidad de Mn.

Palabras clave: Portainjertos, nutrimentos, relación nutrimento:vigor.

SUMMARY

During 1993 and 1994, foliar nutrient concentration on cv. Starkspur Supreme Delicious apple grafted upon nine clonal and seedling rootstocks at Bachiniva, Chihuahua were examined. N and K foliar concentrations were not affected by rootstocks, however, for P, Ca, Mg, B, Fe, Cu, Zn, and Mn significant differences were found. Negative relationships between N, P, Ca, and Mn with canopy volume were found with ten apple rootstocks, where the most vigorous rootstocks showed the lowest foliar nutrient concentration like seedling, EMLA.7 and EMLA.26. The less vigorous rootstocks like P.22, MAC.1 and MAC.39 showed Mn toxicity.

¹ Frutales Caducifolios, Instituto Nacional de Investigaciones Forestales y Agropecuarias, Ciudad Cuauhtémoc, Chih. Tel. y Fax: (158) 23110.

² Especialidad de Fruticultura, IREGEP, Colegio de Postgraduados, 56230 Montecillo, Estado de México. Tel. y Fax: (595) 11584.

Aceptado: Marzo de 1999.

Index words: Rootstocks, nutrients, relationship nutrient:vigour.

INTRODUCCION

La tendencia a utilizar cada vez más altas densidades de plantación en los diferentes árboles frutales es evidente. Uno de los factores fijos de manejo más importantes en el comportamiento de la huerta es el portainjerto, y en el cultivo de manzano, no es la excepción. Debido a ello, anualmente los diferentes programas de mejoramiento genético en el mundo liberan nuevos materiales con diferentes características agronómicas importantes para el cultivo (Webster y Tobutt, 1994). Posteriormente, estos materiales son probados en las diferentes áreas manzaneras del mundo para seleccionar los que mejor se adaptan (Ferree, 1995). El árbol frutal está compuesto por el cultivar y el portainjerto; este último está en contacto directo con el medio ambiente del suelo al cual debe adaptarse, así mismo influye en la absorción de nutrimentos y, por lo tanto, en la concentración nutrimental en la hoja. Por ello, el análisis de tejido foliar es utilizado para diagnosticar el estado nutrimental de una huerta y sus requerimientos futuros, pero también se ha utilizado para conocer la capacidad de diferentes portainjertos en absorber y trasladar nutrimentos a la hoja (Poling y Oberly, 1979; West y Young, 1988; Rom *et al.*, 1990, 1991; Sharma y Shauhan, 1991).

Cada injerto, como componente importante de un árbol completo, puede influir en la concentración de los cinco elementos mayores (N, P, K, Ca y Mg). Por ejemplo, se encontró alta concentración de Mg y baja de K en hojas del árbol injertado sobre M.2 y M.26; altas concentraciones de Ca se encontraron en hojas de árboles injertados sobre MM.106 y árboles injertados sobre M.26 presentaron altas concentraciones de Mn (Abdalla *et al.*, 1982).

Amado, en 1989, asentó que 63 % de los huertos de manzano en Cuauhtémoc, Chih., presentan una alta concentración de nitrógeno, con valor promedio

de 3.1 %. En el caso de fósforo, 15 % de los huertos mostraron una alta concentración de este elemento, el valor promedio fue de 0.40 % en el follaje de manzano. Asimismo, es común encontrar deficiencias visibles en el follaje de elementos como Fe, Zn y Mg. De igual forma se encuentran deficiencias de Ca en el fruto, ocasionando el llamado "Bitter pit" o "mancha amarga". También es común encontrar síntomas característicos de toxicidad de Mn, acentuándose más en cultivares espolonados que en estándares y en portainjertos enanos y semienanos que en los vigorosos. Por su parte, Rom *et al.* (1991), al estudiar nueve portainjertos clonales para manzano en tres sitios, encontraron que en Arkansas, donde el pH es bajo (4.5 a 5.5), EMLA.27 y MAC.9 (MARK) registraron alta concentración de Mn en la hoja y síntomas característicos de toxicidad del elemento en el tronco y ramas (necrosis, roña o sarampión de la corteza) e incluso algunos murieron; EMLA.7 y MAC.24 tuvieron los niveles más bajos de Mn en la hoja, y M.9 y EMLA.9 presentaron alta concentración de Ca y Mg en la hoja.

Poling y Oberly (1979), al estudiar el efecto de algunos portainjertos injertados con manzana cv. McIntosh sobre la concentración nutrimental de la hoja, encontraron que los niveles de N, P, K, B, Zn y Cu no fueron afectados significativamente por el portainjerto, en tanto que con el interinjerto M.9/MM.106 se observó alta concentración de Ca en las hojas; los portainjertos que propiciaron altas concentraciones de Mg en la hoja fueron MM.106 y el Franco, y los portainjertos M.7 y Alnarp.2 tuvieron altas concentraciones de Fe en la hoja.

Los elementos que presentan mayores problemas de movilidad dentro de la planta son Mg, B y Ca. Este último es el de mayor importancia práctica, porque muchos desórdenes fisiológicos del fruto están asociados con bajos niveles de Ca. La limitada traslocación de Ca hacia el fruto, así como la falta de traslocación de las hojas al fruto, hacen difícil elevar las concentraciones del mismo, ya sea con aplicaciones al suelo o al follaje. Para incrementar el contenido de Ca en fruto, las aspersiones deben ser dirigidas al mismo como CaCl_2 (Greene y Crassweller, 1995). Por su parte, Kennedy *et al.* (1987), al estudiar la variación en la concentración de Ca en la hoja de varios genotipos utilizados como portainjertos en manzano, encontraron que MM.111 presenta consistentemente el más bajo nivel de Ca, sin embargo,

M.4 y M.9a presentan consistentemente altos niveles del mismo elemento en la hoja. M.7 y MM.104 fueron seminconsistentes y M.26, MM.106 y M.27 inconsistentes.

Martínez y Sadowski (1981) estudiaron el efecto de portainjertos sobre la presencia de mancha amarga en el cv. Rayada, y encontraron que no hay diferencias significativas entre M.26, M.7 y MM.111. Sin embargo, M.7 fue ligeramente menos susceptible a desarrollar mancha amarga externa antes de la cosecha y externa e interna después del almacenamiento que M.26 y MM.111.

En México, el portainjerto predominante es el Franco (proviene de semilla), con 85 % de la superficie plantada y el resto son portainjertos clonales como MM.111, MM.106, MM.109, M.7 y M.26 (Parra y Guerrero, 1994). Por lo anterior, el presente trabajo tiene como objetivo analizar y discutir el contenido nutrimental en la hoja durante dos años con relación al vigor en diferentes portainjertos de manzano injertados con el cv. Starkspur Supreme Delicious.

MATERIALES Y METODOS

La plantación donde se llevó a cabo este experimento se estableció en abril de 1984 en Bachiniva, Chih. El manejo dado al huerto fue poda en líder central, de tres a cuatro riegos rodados de marzo a junio con láminas de 7 cm, fertilización con 60 kg de N y 60 kg de P_2O_5 por hectárea antes del primer riego, control mecánico de la maleza entre hileras de árboles y con herbicida dentro de las mismas.

Bachiniva presenta una precipitación promedio anual de 400 mm, temperatura mínima extrema de -26 a -11 °C y la máxima oscila entre 39 y 45 °C. El período libre de heladas va de 130 a 214 días comprendidos entre abril y octubre. El suelo es de textura migajón arcillo arenosa, pH de 6.6, densidad aparente de 1.2 g cm^{-3} , infiltración básica de 3.3 cm h^{-1} y una profundidad de 60 cm con gran cantidad de piedra.

Se evaluaron 10 árboles de los siguientes portainjertos plantados a una distancia de 3.5 x 5.5 m: 1) BUD.9, 2) MAC.1, 3) MAC.39, 4) P.1, 5) P.22, 6) Franco, 7) CG.24, 8) M.4, 9) EMLA.26 y 10) EMLA.7, injertados con el cv. Starkspur Supreme Delicious. Durante la primera quincena de julio de 1993 y 1994 se muestrearon 100 hojas sanas de la parte media de los 10 árboles plantados por

portainjerto, de la parte media de brotes del año, sin fruto (Amado, 1989; Westwood, 1993), posteriormente se dividieron al azar en tres muestras, las cuales se tomaron como repeticiones. Las hojas se lavaron y se procesaron en el laboratorio de la Unión Agrícola Regional de Fruticultores del estado de Chihuahua (UNIFRUT), en Cuauhtémoc, Chih., donde se determinaron los siguientes elementos con las metodologías respectivas: N fue determinado por el método microkjeldahl; P se determinó mediante colorimetría; B mediante la metodología de la curcumina y Ca, Mg, Mn, Cu, Fe, Zn y K se determinaron utilizando el espectrofotómetro de absorción atómica. La información obtenida del análisis foliar se sometió a un análisis estadístico de bloques completos al azar utilizando un factorial 2 x 10, considerando dos años (1993 y 1994), y los 10 portainjertos con tres repeticiones por tratamiento. También se determinó el volumen de copa (m³) multiplicando 0.5236 por d³, donde d=diámetro de copa (Westwood, 1993). Para la comparación de medias se utilizó Tukey al 95 % de probabilidad.

RESULTADOS Y DISCUSION

Concentración Nutrimental

Nitrógeno. No se encontraron diferencias significativas entre portainjertos (PORT), concordando con Poling y Oberly (1979), tampoco para la interacción portainjerto*años (P*A), pero sí entre años (Cuadros 1 y 2). La mayor concentración de N en la hoja se presentó en 1994 con 26.9 mg g⁻¹ de peso seco, que es ligeramente mayor que los encontrados por Rom *et al.* (1995) en Arkansas en los mismos portainjertos, pero es bajo en comparación con lo encontrado por Amado (1989) en huertos comerciales de manzano en Cuauhtémoc, Chih. Cabe indicar también que, de acuerdo con Tukey y Dow (1979), están dentro del intervalo considerado como satisfactorio para el buen desarrollo del cultivo. También se encontró una correlación negativa significativa (r = -0.660, α = 0.037) entre el volumen de copa (VC) y la concentración de N en la hoja, ya que a medida que aumenta el VC, la concentración de N disminuye (Figuras 1 y 2). Cabe indicar que los árboles se fertilizaron con la misma cantidad de N por unidad de superficie, sin importar el vigor del portainjerto (Figura 2).

Cuadro 1. Significación muestral (α = estimada) en el análisis de varianza para concentración nutrimental (macro y micronutrientes) en la hoja de 'Starkspur Supreme Delicious' injertado sobre diferentes portainjertos de manzano durante dos años en Bachiniva, Chih.

Fuente de variación	N	P	K	Ca	Mg
Portainjerto	0.282	5x10 ⁻⁴	0.085	2x10 ⁻⁴	0.011
Años	1x10 ⁻⁴	0.187	1x10 ⁻⁴	1x10 ⁻⁴	3x10 ⁻⁴
PxA†	0.554	0.006	0.043	0.299	0.453
	B	Zn	Fe	Cu	Mn
Portainjerto	0.005	2x10 ⁻⁴	1x10 ⁻⁴	1x10 ⁻⁴	1x10 ⁻⁴
Años	0.113	0.065	0.131	0.166	1x10 ⁻⁴
PxA†	0.061	2x10 ⁻⁴	0.320	0.059	1x10 ⁻⁴

† Interacción portainjertos por años.

Fósforo. Se encontraron diferencias significativas entre portainjertos, así como para la interacción P*A, pero no entre años (Cuadros 1 y 2). El análisis foliar indica que los portainjertos de la serie MAC y P son los que presentan las más altas concentraciones de P en la hoja con 3.1 mg g⁻¹ de peso seco. Por el contrario, CG.24 y EMLA.7 presentan las más bajas concentraciones de este elemento con 2.3 mg g⁻¹ de peso seco, aunque de acuerdo con Tukey y Dow (1979) se considera satisfactorio para el desarrollo de la planta. La fuente de variación significativa que se encontró en la interacción P*A se debe a portainjertos y no a años, ya que entre años no hay diferencias significativas (Cuadro 1). También se encontró una correlación negativa significativa (r = -0.658, α = 0.038) entre el

Cuadro 2. Concentración foliar de macronutrientes (mg g⁻¹ de PS) en árboles de manzano 'Starkspur Supreme Delicious' injertados sobre diferentes portainjertos durante dos años en Bachiniva, Chih.

Portainjerto	N	P	K	Ca	Mg
BUD.9	26.1a [†]	2.5ab	9.4a	4.9b	2.8ab
MAC.1	24.9a	3.1a	9.6a	7.4a	2.8ab
MAC.39	26.6a	3.1a	11.0a	5.1b	2.7ab
P.1	25.1a	3.1a	10.5a	4.6b	2.4b
P.22	27.2a	3.1a	12.3a	5.3ab	2.9ab
Franco	24.8a	2.5ab	11.0a	4.1b	3.1ab
CG.24	24.6a	2.3b	11.6a	4.2b	3.5a
M.4	25.6a	2.9ab	11.2a	3.4b	2.3b
EMLA.7	25.1a	2.5ab	12.3a	4.6b	2.9ab
EMLA.26	23.2a	2.5ab	11.4a	4.2b	3.1ab
Años					
1993	23.7b	2.8a	10.0b	4.0b	2.6b
1994	26.9a	2.7a	12.0a	5.5a	3.1a

† Medias dentro de columnas con la misma letra, para cada factor, son estadísticamente iguales (Tukey, α≤0.05).

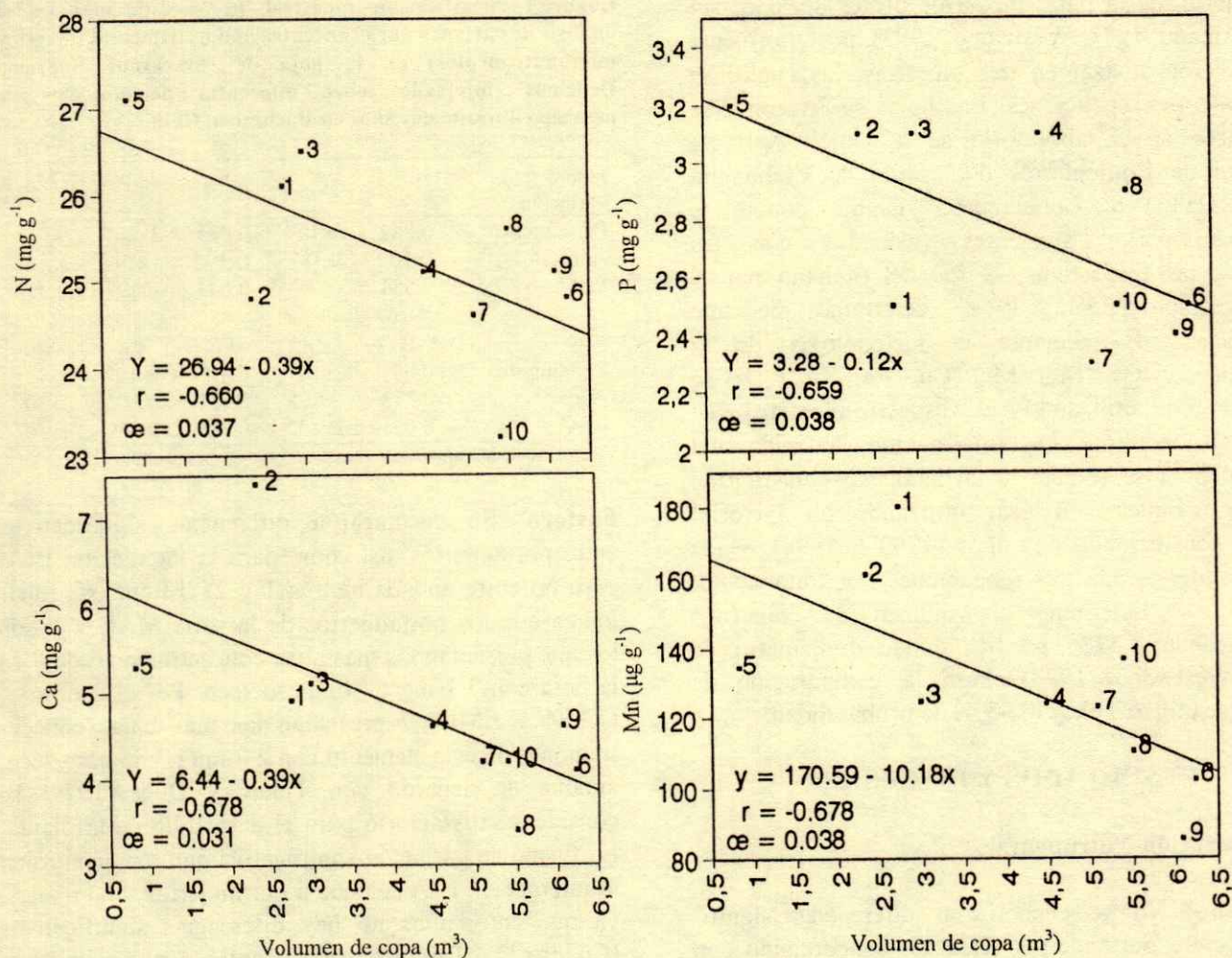


Figura 1. Relación entre volumen de copa y concentración de N, P, Ca y Mn en el cultivar Starkspur Supreme Delicious injertado sobre 10 portainjertos. (1) BUD.9, 2) MAC.1, 3) MAC.39, 4) P.1, 5) P.22, 6) Franco, 7) CG.24, 8) M.4, 9) EMLA.26 y 10) EMLA.7; r=coeficiente de correlación; α=significancia muestral en el análisis de regresión).

VC y el contenido de P, ya que a medida que el VC aumenta, la concentración de P disminuye (Figuras 1 y 2).

Potasio. Se encontraron diferencias significativas entre años e interacciones P*A, pero no entre los diferentes portainjertos (Cuadros 1 y 2), por lo tanto, la fuente de variación para la interacción se debe al factor años. Rom *et al.* (1995) indican que el K decrece a través del tiempo y que hay necesidad de fertilizar con este elemento año con año, pero en este caso ocurrió lo contrario. De acuerdo con Tukey y Dow (1979), la concentración de este elemento en la hoja se considera como deficiente (Cuadro 2), ya que el intervalo de suficiencia está entre 1.3 y 1.75 %. Además, los resultados obtenidos concuerdan con Poling y Oberly

(1979), al indicar que el portainjerto no influye en la concentración de K en la hoja, no obstante que Abdalla *et al.* (1982) encontraron altas concentraciones de K en hojas del cv. Delicious injertado en M.26.

Calcio. Se encontraron diferencias significativas entre portainjertos y entre años, pero no para la interacción P*A (Cuadros 1 y 2). Los árboles con mayor concentración de este elemento en la hoja fueron los injertados sobre MAC.1 y P.22 con 7.4 y 5.3 mg g⁻¹ de peso seco, respectivamente; ambos portainjertos confieren poco vigor a la parte aérea comparados con el Franco (Figura 2). Entre años se observa una mayor concentración en 1994 que en 1993, sin embargo, en todos los materiales los niveles de Ca en la hoja se encuentran como deficientes, de acuerdo con lo

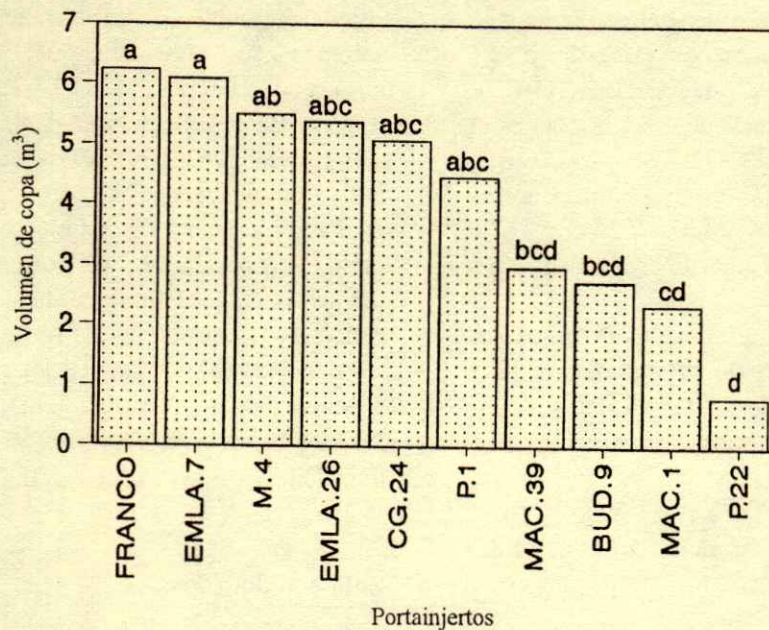


Figura 2. Volumen de copa de árboles de manzano “Starkspur Supreme Delicious” injertados sobre diferentes portainjertos en Bachiniva, Chih. (Barras con la misma letra son estadísticamente iguales, Tukey, 0.05 %.)

indicado por Tukey y Dow (1979) y concordando con Amado (1989) quien encontró deficiencias de este elemento en huertos comerciales. En campo se observaron deficiencias de Ca en el fruto, sin llegar a daños severos, por lo que es necesario aumentar los niveles de este elemento en todos los materiales. También se encontró una correlación negativa significativa ($r = -0.678$, $\alpha = 0.031$) entre Ca y VC, ya que al aumentar el vigor del portainjerto, la concentración de Ca disminuye (Figuras 1 y 2). La literatura indica altas concentraciones de Ca en la hoja al utilizar portainjertos enanizantes como M.9 y EMLA.9 (Rom *et al.*, 1991), M.9/MM.106 (Poling y Oberly, 1979) y M.9a y M.7 (Kennedy *et al.*, 1987), esto da pauta para pensar que portainjertos enanizantes tienen más habilidad para absorber y transportar Ca hacia la parte aérea que portainjertos vigorosos.

Magnesio. Se encontraron diferencias significativas entre portainjerto y años, pero no para la interacción P*A (Cuadros 1 y 2). Los árboles que presentan la mayor concentración de Mg en la hoja son los injertados sobre CG.24, Franco y EMLA.26, con 3.5, 3.1 y 3.1 mg g^{-1} de peso seco, respectivamente (Cuadro 2), aunque solamente el primer valor está en el intervalo de suficiencia, en tanto que el resto está en el límite de suficiencia (3.1 a 3.5 mg g^{-1}), de acuerdo con Tukey y Dow (1979). Además, Abdalla *et al.*

(1982) encontraron que injertando sobre M.26 se presentan altas concentraciones de Mg en la hoja y dado que EMLA.26 se deriva de M.26, hay concordancia en los resultados. También Poling y Oberly (1979) encontraron altas concentraciones foliares de este elemento en árboles injertados sobre MM.106 y el Franco.

Boro. Se encontraron diferencias significativas entre las concentraciones foliares de B, en los árboles injertados en los diferentes portainjertos, donde destacan EMLA.7, MAC.39, BUD.9 y EMLA.26 con concentraciones arriba de 30 $\mu\text{g g}^{-1}$ de peso seco, los cuales están en el intervalo de suficiencia (25 a 50 $\mu\text{g g}^{-1}$) de acuerdo con Tukey y Dow (1979), pero no se encontraron diferencias entre años y tampoco para la interacción P*A (Cuadros 1 y 3).

Zinc. Los portainjertos que favorecieron mayor concentración foliar de Zn en el cultivar de estudio son M.4, P.22, CG.24, Franco y MAC.39, con más de 17 $\mu\text{g g}^{-1}$ de peso seco (Cuadro 3), y están en el intervalo de suficiencia (15 a 60 $\mu\text{g g}^{-1}$), según Tukey y Dow (1979). Se encontró diferencia significativa para la interacción P*A (Cuadro 1), donde el factor que influye es el portainjerto, ya que entre años no se encuentran diferencias. Este elemento se encuentra deficiente en los huertos comerciales en Cuauhtémoc, Chih, (Amado, 1989).

Fierro. La concentración de este elemento en la hoja se considera en el intervalo de suficiencia ($100-400 \mu\text{g g}^{-1}$ de peso seco) de acuerdo con Tukey y Dow (1979). Pero el árbol con mayor concentración en la hoja es el injertado sobre el portainjerto CG.24 con $160 \mu\text{g g}^{-1}$. Las concentraciones más bajas se presentaron en las plantas injertadas sobre BUD.9 y EMLA.26 con 117 y $115 \mu\text{g g}^{-1}$, respectivamente (Cuadro 3), aún dentro del intervalo de suficiencia.

Cobre. La concentración foliar de Cu en todos los portainjertos está en el intervalo de suficiencia (6 a $40 \mu\text{g g}^{-1}$), de acuerdo con Tukey y Dow (1979), donde destacan los árboles injertados sobre CG.24 y EMLA.7 con más de $10 \mu\text{g g}^{-1}$ de peso seco (Cuadro 3), ambos son portainjertos semivigorosos (Figura 2), en tanto que portainjertos enanizantes presentan concentraciones entre 8 y $9 \mu\text{g g}^{-1}$, pero dentro del intervalo de suficiencia.

Manganeso. En este caso se encontraron diferencias significativas para portainjerto, años y para la interacción P*A (Cuadros 1 y 3). La más baja concentración se encontró en árboles injertados sobre los portainjertos EMLA.7 y el Franco con 85 y $102 \mu\text{g g}^{-1}$ de peso seco, portainjerto semienano y vigoroso, respectivamente (Figura 2), en concordancia con Rom *et al.* (1991), al encontrar altas concentraciones de Mn en portainjertos enanizantes como EMLA.27 y MAC.9, pero bajas concentraciones en portainjertos vigorosos como EMLA.7 y MAC.24. De acuerdo con Tukey y Dow (1979), el intervalo de suficiencia es entre 25 y $100 \mu\text{g g}^{-1}$ de peso seco, por lo que el resto de los materiales estudiados están entre un intervalo de

suficiencia a exceso. Cabe indicar que se observaron síntomas de toxicidad por Mn al utilizar los portainjertos BUD.9, MAC.1 y P.22, ya que el cultivar utilizado es del grupo Red Delicious espolonado que son aún más susceptibles a este elemento que los cultivares del grupo Golden Delicious. Mn es un elemento altamente disponible cuando el pH es menor que 6, y generalmente se presenta en exceso ocasionando toxicidades principalmente a nivel de ramas y tronco en los cultivares del grupo Red Delicious y en portainjertos enanizantes (Rom *et al.*, 1995). También se encontró una correlación negativa significativa ($r = -0.678$, $\alpha = 0.038$) entre concentración de Mn y VC, donde a mayor vigor (VC), menor concentración de Mn (Figura 1).

Volumen de Copa

El mayor volumen de copa se presentó en árboles injertados sobre el portainjerto Franco, seguido por aquellos sobre EMLA.7, M.4, EMLA.26 y CG.24, grupo de portainjertos semivigorosos que tienen un amplio potencial para ser utilizados en las zonas manzaneras de México por su menor tamaño que el Franco. Los portainjertos P.1, MAC.39, BUD.9 y MAC.1 propiciaron un volumen menor que los anteriores y se consideran como semienanos, pero el material más enanizante de todos los estudiados fue P.22, concordando con Rom *et al.* (1995) y Ferree (1995) (Figura 2). Las mayores concentraciones de N, P, Ca y Mn encontradas en las combinaciones menos vigorosas, confirman en parte las diferentes relaciones

Cuadro 3. Concentración foliar de micronutrientes ($\mu\text{g g}^{-1}$ de PS) en árboles de manzano 'Starkspur Supreme Delicious' injertados sobre diferentes portainjertos durante dos años en Bachiniva, Chih.

Portainjertos	B	Zn	Fe	Cu	Mn
BUD.9	31.40ab [†]	16.42abc	117.25b	9.17b	180.17a
MAC.1	29.42b	16.33abc	120.75b	9.08b	160.83ab
MAC.39	31.66ab	17.17abc	132.50b	9.33b	124.67c
P.1	30.32ab	15.67bc	123.67b	9.00b	123.86c
P.22	30.09b	18.83ab	139.00ab	9.75ab	134.67bc
Franco	29.17b	17.33abc	127.50b	8.83b	102.33cd
CG.24	30.96ab	17.83abc	160.00a	10.33a	122.92c
M.4	27.39b	19.25a	136.17ab	9.93ab	110.42cd
EMLA.7	34.69a	15.08c	122.50b	10.69a	85.42d
EMLA.26	31.28ab	15.83bc	115.17b	8.67b	136.67bc
Años					
1993	31.19a	17.35a	132.08a	9.35a	106.62b
1994	30.10a	16.60a	126.82a	9.58a	150.37a

[†] Medias dentro de columnas con la misma letra, para cada factor, son estadísticamente iguales (Tukey, $\alpha \leq 0.05$).

de absorción nutricional que observa cada portainjerto, según la exigencia nutricional que impone el desarrollo en cada caso.

CONCLUSIONES

Las mayores concentraciones foliares de P y Ca se presentan al utilizar los portainjertos MAC.1, MAC.39, P.1 y P.22.

Para B, Zn, Fe y Cu la mayoría de los portainjertos presentan concentraciones en el intervalo de suficiencia.

Las concentraciones foliares más bajas de Mn, se presentan al utilizar los portainjertos Franco y EMLA.7.

Existe una correlación negativa significativa entre volumen de copa y la concentración de N, P, Ca y Mn, donde a mayor volumen de copa, menor concentración del elemento.

Para las condiciones del estudio es más recomendable utilizar árboles de vigor intermedio, ya que el productor está cambiando paulatinamente del Franco a los clones semienanos, donde destacan CG.24, EMLA.26, P.1 y MAC.39, todos con menores concentraciones de Mn, asegurando menor posibilidad de exceso de este elemento en cultivares del grupo Red Delicious como el 'Starkspur Supreme Delicious'.

LITERATURA CITADA

- Abdalla, O.A., H. Khatamian y N.W. Miles. 1982. Effect of rootstocks and interstems on composition of "Delicious" apple leaves. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 107: 730-733.
- Amado A., J.P. 1989. Levantamiento nutricional del manzano (*Malus domestica*) en la Sierra de Chihuahua. *Terra* 7: 116-124.
- Ferree, D.C. 1995. Ten-year performance of apple rootstocks in the C-140 trial. *Compact Fruit Tree* 28: 49-51.
- Greene, G.M. y R. Crassweller. 1995. Correct calcium disorders. *Amer. Fruit Grower* 115: 19-20.
- Kennedy, A.J., R. Watkinson y J.M. Werts. 1987. Variation in leaf calcium in a range of apple rootstocks. *Fruit Var. J.* 41: 13-16.
- Martínez, O.A. y A. Sadowski. 1981. Estudio comparativo de tres portainjertos sobre la incidencia de mancha amarga (Bitter pit) en la variedad subtropical "Rayada". *Proc. Tropical Region Amer. Soc. Hort. Sci.* 25: 293-296.
- Parra Q., R.A. y V.M. Guerrero P. 1994. Influencia de portainjertos clones para manzano sobre comportamiento, dimensiones y productividad del árbol. Folleto Científico Núm. 2. INIFAP, CIRNOC, Campo Experimental Sierra de Chihuahua, 21 p.
- Poling, E.B. y G.H. Oberly. 1979. Effect of rootstock on mineral composition of apple leaves. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 104: 799-801.
- Rom, C.R., R.C. Rom y M.J. Stasiak. 1990. Size controlling apple rootstocks affect growth, spur quality, foliar nutrition and productivity. *Compact Fruit Tree* 23: 17-21.
- Rom, C.R., R.C. Rom, W.R. Autio, D.C. Elfving y R.A. Cline. 1991. Rootstock effects on foliar nutrient content of "Starkspur Supreme" in the NC-140 rootstock trial. *Compact Fruit Tree* 24: 11-14.
- Rom, C.R., R.A. Allen y R.C. Rom. 1995. Performance of the 1984 NC-140 apple rootstocks trial in Arkansas - Aspects of tree nutrition. *Compact Fruit Tree* 28: 60-67.
- Sharna, D.D. y J.S. Shauhan. 1991. Effects of different rootstocks and training systems on the mineral composition of "Delicious" apple leaves. *J. Hort. Sci.* 66: 703-707.
- Tukey, R.B. y A.I. Dow. 1979. Fertilizer guide: Nutrient content fruit trees in Washington. Cooperative Extension Service, Washington State Univ. Bulletin FG-28f, Pullman Washington.
- Webster, T y K. Tobutt. 1994. European and East Malling rootstock research - New and promising apple rootstocks. *Compact Fruit Tree* 27: 17-24.
- West, S. y E. Young. 1988. Effects of rootstock and interstocks on seasonal changes in foliar nutrient (N, P, K, Ca) composition of Delicious and Golden apple. *Fruit Var. J.* 42: 9-12.
- Westwood, M.N. 1993. Temperate zone pomology. Timber Press, Portland, Oregon, USA

EFFECTO DE LA VERMICOMPOSTA Y LA MICORRIZA ARBUSCULAR EN EL DESARROLLO Y TASA FOTOSINTETICA DE CHILE SERRANO

Effect of Vermicompost and Mycorrhizal Fungi on Growth and Photosynthetic Rate of Chili

M. J. Manjarrez-Martínez¹, R. Ferrera-Cerrato y M. C. González-Chávez

RESUMEN

Se evaluó el efecto de la inoculación con *Glomus* spp. Zac-19 y cinco dosis de vermicomposta: 1.25, 2.0, 3.0, 4.0 y 6.0 g kg⁻¹ de suelo, en el desarrollo y tasa fotosintética de chile serrano (*Capsicum annuum* L.) en condiciones de invernadero. Los muestreos de fotosíntesis y conductancia estomática se realizaron a 72, 106 y 156 días, correspondiendo a las etapas de crecimiento vegetativo, floración y producción de fruto respectivamente. A la cosecha (156 días), el área foliar, peso seco de follaje, volumen radical y contenido de fósforo en follaje se incrementaron significativamente en todos los tratamientos con micorriza más vermicomposta. Sólo las plantas con micorriza produjeron frutos en todas las dosis de vermicomposta. A 78 días después de la siembra la tasa fotosintética y conductancia estomática resultaron mayores en plantas con micorriza para todas las dosis de vermicomposta. La tasa fotosintética más alta (12 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) se presentó en el tratamiento con micorriza más 2.0 g de vermicomposta. La conductancia estomática resultó mayor en los tratamientos con 1.25 y 6.0 g de vermicomposta más la micorriza (0.4 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$). A 106 y 156 días la fotosíntesis y la conductancia estomática fueron menores en los tratamientos con micorriza respecto a los tratamientos sin micorriza. En estos últimos, la tasa fotosintética aumentó conforme la dosis de vermicomposta. La aplicación de vermicomposta no tuvo efecto negativo en la colonización micorrizica la cual fue mayor que 70 % en todos los tratamientos.

Palabras clave: Tasa fotosintética, *Capsicum annuum* L.

¹ Area de Microbiología, Especialidad de Edafología, Colegio de Postgraduados, 56230 Montecillo, Estado de México.

Aceptado: Febrero de 1999.

SUMMARY

The effect of the inoculation of *Glomus* spp. Zac-19 and the application of 1.25, 2.0, 3.0, 4.0, and 6.0 g of vermicompost per kg of soil on the development of chili (*Capsicum annuum* L.) was studied under greenhouse conditions. The foliar area, dry shoot weight, radical volume as well as phosphorus foliage content increased when mycorrhizal fungi and vermicompost were applied. Only mycorrhized plants produced fruits. The photosynthetic rate and the stomatal conductance were higher in mycorrhized plants independently of vermicompost level at 78 days after sowing (DAS). The highest photosynthetic rate (12 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) was observed in mycorrhizal plants amended with 10 g of vermicompost. The stomatal conductance was higher in the treatments with mycorrhizae plus 1.25 and 6.0 g of vermicompost (0.4 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$). At 106 and 156 DAS, the photosynthetic rate and the stomatal conductance were lower in the treatments with mycorrhizae than the treatments without mycorrhizae. In the latter, the photosynthetic rate rose with the increase of the dose of vermicompost. The internal concentration of CO₂ was higher in the treatments without mycorrhizae and in the control. The application of vermicompost did not reduce the mycorrhizal colonization, which was higher than 70 % in all treatments.

Index words: Mycorrhizae, photosynthesis, *Capsicum annuum* L.

INTRODUCCION

Las plantas de chile (*Capsicum annuum* L.) requieren para su desarrollo gran cantidad de luz, calor, humedad y sobre todo minerales (Maroto, 1989). En el caso de su nutrición, es posible utilizar alternativas a los fertilizantes químicos. Una de éstas es la vermicomposta, cuya técnica además de recuperar energía de desechos orgánicos, permite disponer de nutrimentos suficientes para la planta.

Este proceso se lleva a cabo en el intestino de la lombriz de tierra *Eisenia foetida*, cuyo producto final es un material rico en nutrimentos fácilmente asimilables por las plantas y al aplicarse al suelo, ayuda a mejorar las condiciones físicas, químicas y biológicas del mismo (Edwards *et al.*, 1985). Otra alternativa factible de uso en Chile es la inoculación de hongos micorrízicos arbusculares, los cuales llegan a colonizar en alto grado a esta especie (Waterer y Coltman, 1989; Villalobos, 1993) logrando incrementar su desarrollo vía mayor absorción de nutrimentos, principalmente P (Marschner y Dell, 1994). Existen reportes del efecto positivo de la micorriza arbuscular en conjunto con materia orgánica aplicada como composta o simplemente como estiércol o residuos de cosecha, en el desarrollo de las plantas (Saif, 1986; Sieverding, 1991). Sin embargo, pocas investigaciones en México han evaluado su efecto en especies de interés hortícola. Este estudio intenta conocer los efectos de la vermicomposta y la micorriza arbuscular en el desarrollo y fotosíntesis de plantas de Chile serrano, así como el efecto de la vermicomposta sobre la colonización de *Glomus* spp. Zac-19.

MATERIALES Y METODOS

El experimento se realizó en condiciones de invernadero. Se utilizó semilla de un material criollo del estado de Morelos. La vermicomposta se utilizó en dosis de 1.25, 2.0, 3.0, 4.0 y 6.0 g kg⁻¹ de suelo que corresponden a 2.5, 4, 6, 8 y 12 t ha⁻¹, se obtuvo a partir de pulpa de café y contenía 3.5, 0.13 y 1.39 % de N, P y K totales, respectivamente, así como 63 % de materia orgánica y 1 % de humedad (resultados expresados con base en el peso seco). La multicepa endomicorrízica *Glomus* spp. Zac-19 está integrada por tres especies: *Glomus clarum* Nicolson *et* Schenck, *G. claroideum* Schenck *et* Smith y *G. diaphanum* Morton *et* Walker (Chamizo-Checa *et al.*, 1996). El hongo micorrízico se propagó en alfalfa para obtener el inóculo, que consistió de esporas, suelo y raíces. Como sustrato se utilizó suelo de textura franca, pH 6.2, 6.1 % de materia orgánica (rico) y 0.007 % de P Olsen (muy pobre). La siembra fue directa, colocando de cuatro a seis semillas en macetas con 5 kg de suelo previamente fumigado con bromuro de metilo. La inoculación se realizó al momento de la siembra colocando 15 g de inóculo por maceta en un orificio en el que también se colocaron las semillas, para el caso de los tratamientos con vermicomposta, se pesó la dosis respectiva para cada

maceta y se mezcló perfectamente con el suelo en forma individual. Se utilizó un diseño experimental completamente al azar con once tratamientos y ocho repeticiones. Se evaluaron dos factores: inoculación micorrízica y nivel de vermicomposta (Cuadro 1). A los 78, 106 y 156 días después de la siembra se midió tasa fotosintética ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), conductancia estomática ($\mu\text{mol cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$) y concentración interna de CO₂ (ppm) en una hoja madura completamente expandida de cada planta, con un medidor portátil de gases infrarrojo marca LI-COR modelo LI6200. Las fechas de muestreo correspondieron con las etapas de crecimiento vegetativo, floración y fructificación en esta especie. Al final del experimento, a 156 días se midieron: área foliar, peso seco de follaje, volumen radical, contenido de fósforo en follaje, número de frutos, peso fresco de frutos y colonización micorrízica. Se realizó análisis de varianza y comparación de medias mediante la prueba de Tukey ($\alpha=0.05$ %) y análisis de correlación para todas las variables.

RESULTADOS Y DISCUSION

La producción de biomasa en plantas con micorriza fue mayor que en plantas sin inoculación para todas las dosis de vermicomposta (Cuadro 2). No hubo efectos significativos de las dosis de vermicomposta aplicadas en los tratamientos inoculados; sin embargo, el tratamiento con micorriza más 1.25 g de vermicomposta presentó diferencias numéricas en área foliar, mientras que el tratamiento inoculado más 3.0 g de vermicomposta mantuvo diferencias en el peso seco de follaje. Las plantas con sólo vermicomposta crecieron poco y estadísticamente fueron iguales al testigo, aunque se observaron diferencias numéricas, sobre todo en el tratamiento con 6.0 g, el cual tuvo 25 cm² de área foliar y un

Cuadro 1. Tratamientos del experimento.

Micorriza	Vermicomposta g kg ⁻¹ suelo
Sin	1.25
Sin	2.0
Sin	3.0
Sin	4.0
Sin	6.0
Con	1.25
Con	2.0
Con	3.0
Con	4.0
Con	6.0
Testigo	

Cuadro 2. Producción de biomasa y contenido de fósforo en chile serrano con y sin micorriza arbuscular y con diferentes dosis de vermicomposta a 156 días de desarrollo.

Dosis de vermicomposta	Área foliar	Peso seco de follaje	Volumen radical	Fósforo
g kg ⁻¹ suelo	cm ²	g	cm ³	mg g ⁻¹
Con micorriza				
1.25	1441 a	21.37 a	43.2 a	1.9 a
2.0	1437 a	22.51 a	44.5 a	1.8 a
3.0	1406 a	23.36 a	48.5 a	1.8 a
4.0	1357 a	20.47 a	49.2 a	1.9 a
6.0	1374 a	21.65 a	46.2 a	1.8 a
Sin micorriza				
1.25	23 b	0.23 b	1.2 b	0.9 b
2.0	17 b	0.16 b	0.5 b	0.9 b
3.0	12 b	0.12 b	0.5 b	0.7 b
4.0	12 b	0.10 b	0.3 b	1.0 b
6.0	25 b	0.20 b	0.6 b	1.3 b
Testigo	3 b	0.10 b	0.2 b	0.7 b
	DSH=461.65	DSH=6.71	DSH=19.4	DSH=0.6

Medias con la misma letra dentro de las columnas son iguales estadísticamente, Tukey $\alpha=0.05$. DSH= Diferencia significativa honesta.

peso seco de follaje de 0.20 g (Cuadro 2). En suelos deficientes en P, el hongo micorrizico tiene mayor efecto sobre el crecimiento vegetativo (Davies y Linderman, 1991; Lu y Koide, 1994), debido no sólo al incremento en la asimilación de nutrientes al favorecer el área superficial de absorción (Marschner y Dell, 1994), sino que además mejora el transporte de agua, beneficiando el *estatus* nutricional de la planta (Allen *et al.*, 1981).

El volumen radical de plantas inoculadas presentó diferencias estadísticas significativas ($P<0.05$) respecto a las no inoculadas y al testigo (Cuadro 2). No hubo diferencias estadísticas entre las dosis de vermicomposta utilizadas en las plantas con micorriza; sin embargo, existió la misma tendencia que para peso seco de follaje, las dosis altas de vermicomposta indujeron mayores valores de volumen radical, el tratamiento con 4.0 fue numéricamente mayor que el resto de tratamientos y que el testigo. Las plantas con sólo vermicomposta desarrollaron pobremente el sistema radical resultando iguales al testigo. El balance de crecimiento entre follaje y raíz es un indicador de que la planta se desarrolló satisfactoriamente. Por otro lado, el mayor volumen radical de plantas inoculadas es efecto directo de la micorriza, ya que la mayor asimilación de nutrientes no puede ser atribuida exclusivamente a la hifas del hongo, sino también al aumento en crecimiento de la raíz del hospedante (Marschner y Dell, 1994), dando como resultado mayor exportación de nutrientes y agua hacia la parte aérea.

La concentración de P por gramo de follaje no fue mayor que 2 mg. El máximo valor ocurrió en plantas inoculadas más 1.25 y 4.0 g de vermicomposta kg⁻¹ suelo, aunque no mostró diferencias estadísticas con el resto de tratamientos inoculados (Cuadro 2). Los tratamientos con sólo vermicomposta resultaron estadísticamente iguales al testigo; sin embargo, hubo diferencias numéricas. Efectos similares fueron mencionados por Davies y Linderman (1991) y Sreenivasa *et al.* (1993), quienes encontraron que la concentración de P se incrementó en plantas de chile inoculadas con micorriza. El P forma parte de los fosfolípidos, ácidos nucleicos y se utiliza en la transportación de energía (Guenkov, 1974), por lo que una buena nutrición de este elemento asegura que la planta se desarrolle satisfactoriamente como ocurrió en las plantas inoculadas, contrario a las plantas no inoculadas donde por sí sola la vermicomposta no influyó en el desarrollo. Aun cuando existan los nutrientes disponibles, el establecimiento de los hongos favorece la funcionalidad de las raíces para la absorción de los mismos.

A los 156 días después de la siembra, sólo las plantas inoculadas produjeron frutos (Cuadro 3). El peso fresco de frutos fue mayor en plantas inoculadas más 3.0 g de vermicomposta kg⁻¹ suelo (Cuadro 3), este tratamiento también produjo el mayor peso seco de follaje y 4.5 frutos planta⁻¹. En el análisis de correlación la variable peso seco de follaje mostró asociación con el número y peso de frutos ($r=0.55$), esto muestra que la cantidad de flores, frutos y

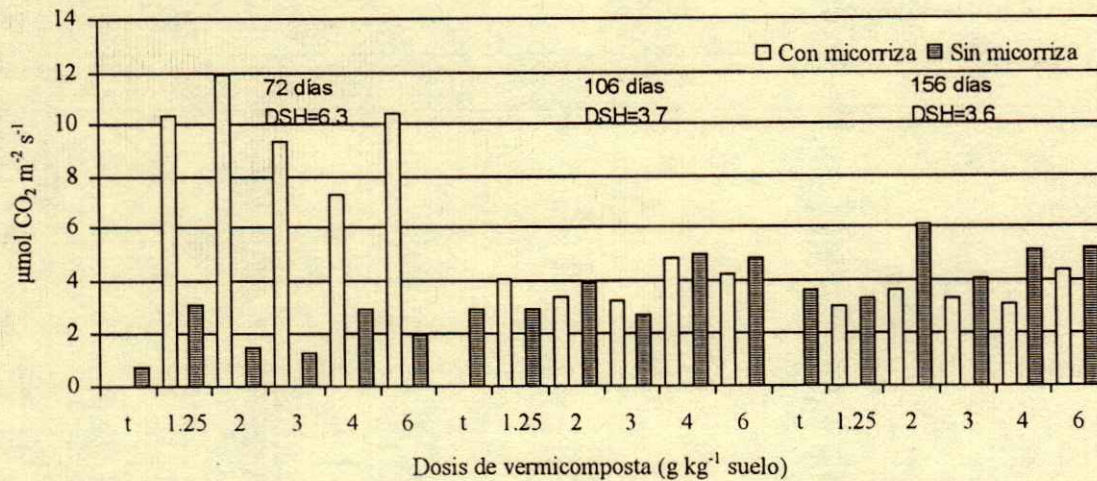


Figura 1. Tasa fotosintética en chile serrano influenciada por la micorriza arbuscular y diferentes dosis de vermicomposta a 78, 106 y 156 días después de la siembra. t=Testigo.

semillas producidas por una planta es proporcional al tamaño de la misma (Lloyd, 1980). El efecto positivo del P y de las sustancias húmicas sobre la fructificación ha sido reportado por varios autores (Chen y Solovitch, 1988; Batten y Slack, 1990) la inoculación del hongo micorrízico arbuscular afectó positivamente el desarrollo reproductivo, debido a la sustancial mejora del desarrollo vegetativo a través de la nutrición con P.

A los 78 días después de la siembra, la micorriza incrementó significativamente la tasa fotosintética en los tratamientos donde se aplicaron 1.25, 2.0, 3.0 y 6.0 g de vermicomposta. El tratamiento con 4.0 g presentó el menor valor (Figura 1). Los tratamientos con sólo vermicomposta superaron estadísticamente al testigo, aunque no existieron diferencias significativas entre dosis. Esta primera medición de fotosíntesis se realizó cuando la planta estaba en pleno crecimiento vegetativo y se asoció positivamente con peso seco de follaje ($r=0.85$), número de flores ($r=0.48$) y peso fresco de frutos ($r=0.65$). Resultados similares fueron reportados por Allen *et al.* (1981), quienes registraron incrementos de fotosíntesis en *Bouteloua gracilis* (Gramineae) inoculada con micorriza, estableciendo que desconocían la razón de este incremento. Del mismo modo Trent *et al.* (1989) encontraron que la fotosíntesis de la "hoja bandera" de plantas inoculadas de sorgo, fue dos veces mayor que el valor de plantas no inoculadas, del mismo modo la conductancia estomática y transpiración fueron superiores.

Con relación a la conductancia estomática, para esta misma fecha, los mayores valores se encontraron

en tratamientos inoculados; sin embargo, no existieron diferencias estadísticas entre ellos (Figura 2). Lauer *et al.* (1989) describieron los efectos de la deficiencia de P sobre la fotosíntesis neta, indicando que el estoma no fue muy sensible al suministro de P; por su parte, Sawada *et al.* (1986) asumieron que las deficiencias de P no afectan la difusión estomatal; sin embargo, inhiben la fotoquímica y las reacciones enzimáticas de la fase oscura de la fotosíntesis. La concentración interna de CO_2 en el mesófilo no mostró diferencias estadísticas entre tratamientos para esta misma fecha; sin embargo, los tratamientos sin micorriza presentaron mayor concentración al igual que el testigo (Figura 3). En plantas inoculadas la concentración fue menor debido a que presentaron mayor actividad fotosintética, lo que supone un mayor consumo de CO_2 .

A los 106 días después de la siembra, hubo un cambio total en la respuesta de las plantas; la tasa fotosintética disminuyó en plantas inoculadas y en las no inoculadas se incrementó ligeramente con

Cuadro 3. Número y peso fresco de frutos de chile serrano a 156 días después de la siembra en plantas con micorriza arbuscular y con diferentes dosis de vermicomposta.

Dosis de vermicomposta g kg ⁻¹ suelo	Número de frutos	Peso fresco de fruto g
1.25	4.62	7.6
2.0	0.71	1.91
3.0	4.57	11.87
4.0	0.71	1.34
6.0	2.37	5.45

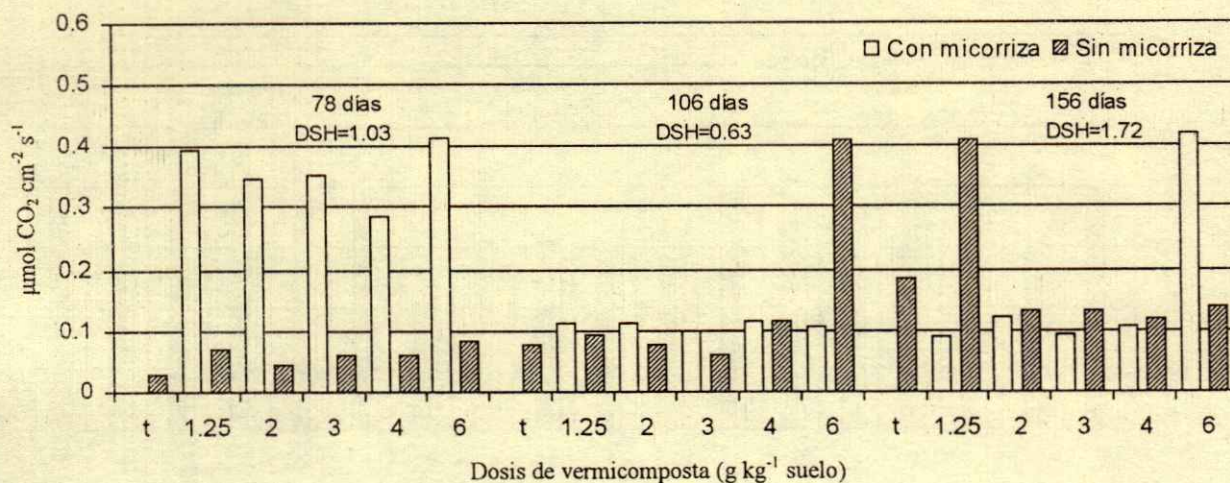


Figura 2. Conductancia estomática influenciada por la micorriza arbuscular y diferentes dosis de vermicomposta en Chile serrano a 78, 106 y 156 días después de la siembra. t=Testigo.

respecto a la medición anterior. Todos los tratamientos resultaron estadísticamente iguales y sin ninguna tendencia (Figura 1). La conductancia estomática disminuyó en los tratamientos inoculados en todas las dosis de vermicomposta y permaneció igual que en la primera medición en los no inoculados (Figura 2). Esta segunda medición se realizó cuando las plantas habían iniciado la etapa de floración, tal vez en esta etapa no se produjeron hojas nuevas y probablemente las existentes iniciaban su senescencia disminuyendo la velocidad de fotosíntesis. Tanaka y Yamaguchi (1984) mencionaron que con la edad, la velocidad de translocación en hojas de maíz se abate, el contenido de azúcares se incrementa y la velocidad de fotosíntesis por unidad de área foliar disminuye. Por otra parte, Flüggé *et al.* (1980) concluyeron, que también la alta concentración de P puede disminuir la fotosíntesis neta debido al excesivo transporte de P dentro del estroma acompañado por un transporte similar de la triosafosfato hacia el citoplasma, en consecuencia los metabolitos necesarios dentro del estroma para la alta fotosíntesis están reducidos.

Para esta segunda fecha, la concentración interna de CO_2 fue estadísticamente superior en el testigo, el resto de los tratamientos no mostró diferencias significativas (Figura 3). Este resultado se debió al poco desarrollo mostrado por el testigo.

En la tercera y última medición de la tasa fotosintética, realizada a los 156 días después de la siembra, tampoco se encontraron diferencias significativas entre tratamientos (Figura 1). La conductancia estomática mostró un comportamiento similar, todos los tratamientos fueron estadísticamente

iguales (Figura 2). Cuando esta medición se llevó a cabo, las plantas inoculadas se encontraban en fructificación y en proceso de defoliación. La alta demanda por carbohidratos para la producción de frutos y para mantener la colonización micorrízica probablemente condujo a la planta, primero a una depresión en la tasa fotosintética y después resultó incapaz de soportar dicha demanda, eliminando las hojas. Tanaka y Yamaguchi (1984) concluyeron que el incremento en la velocidad de respiración y la senectud precoz de las hojas provocan disminución de la velocidad de fotosíntesis, debido a que la translocación de productos fotosintéticos se torna lenta con la consecuente acumulación de azúcares. La tasa fotosintética mostrada por las plantas con vermicomposta sola y por el testigo estuvo más bien en función del estado nutricional de la hoja. Los mismos autores concluyeron que existe una asociación entre el incremento de la velocidad de fotosíntesis y el contenido de P, N y K en la hoja.

A 156 días después de la siembra, la concentración interna de CO_2 en el mesófilo fue diferente en todos los tratamientos, resultando superiores aquellos con sólo vermicomposta en todas las dosis utilizadas (Figura 3). A esta edad, las plantas estuvieron altamente colonizadas en todas las dosis de vermicomposta, la colonización total siempre fue mayor que 70%. La mayor respuesta (80.6%) se obtuvo con la adición de 6.0 g de vermicomposta, mientras que el menor valor de colonización (70.8%) lo presentó el tratamiento con 1.25 g; sin embargo, no existieron diferencias estadísticas (Cuadro 4). Con relación al porcentaje de arbusculos, los resultados

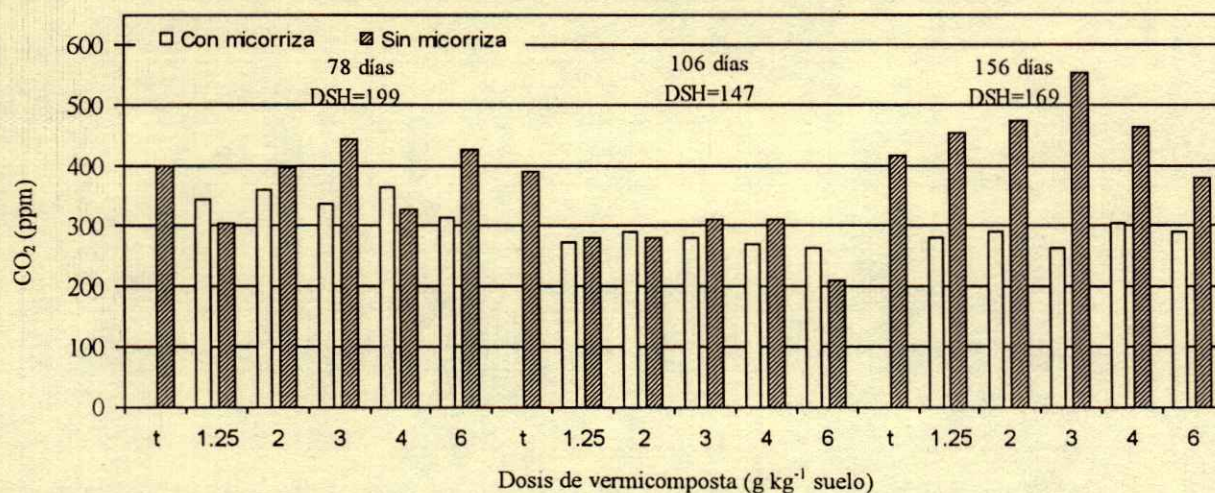


Figura 3. Concentración interna de CO₂ en chile serrano con y sin micorriza arbuscular y con diferentes dosis de vermicomposta a 78, 106 y 156 días después de la siembra. t=Testigo.

fueron similares a los de colonización total, mostrando valores por arriba de 60 % y reflejando la eficiencia en la translocación del P hasta el hospedante. La alta afinidad de chile a la micorriza ya fue reportada por varios autores, quienes encontraron colonización de hasta 90 % (Bagyaraj y Sreeramulu, 1982; Waterer y Coltman, 1989). Para el tipo serrano, Villalobos (1993) reportó colonización de 41 y 38.75 %, respectivamente con las cepas *Glomus* spp. Zac-2 y *Glomus* spp. Zac-3 en trabajos de campo. La colonización total y el porcentaje de arbuscúlos estuvieron asociados con área foliar, volumen radical, peso seco de follaje, número de frutos, peso fresco de frutos y tasa fotosintética, por lo que los incrementos logrados en estas variables se deben probablemente a la micorriza, como lo refieren otros autores (Matías-Crisóstomo y Ferrera-Cerrato, 1993; Torres, 1993).

Cuadro 4. Efecto de diferentes dosis de vermicomposta en la colonización de *Glomus* spp. Zac-19 en plantas de chile serrano a 156 días después de la siembra.

Dosis de vermicomposta g kg ⁻¹ suelo	Vesículas	Arbuscúlos %	Colonización total
1.25	14.00	70.0	75.7
2.0	1.45	82.8	88.5
3.0	2.14	77.1	85.0
4.0	1.40	85.1	90.0
6.0	4.28	87.1	91.4

CONCLUSIONES

La producción de frutos en chile serrano fue favorecida por la inoculación micorrizica más la adición de 3.0, 4.0 y 6.0 g de vermicomposta. La tasa fotosintética a 78 días después de la siembra fue mayor en todos los tratamientos con micorriza más vermicomposta; posteriormente, a los 106 y 156 días la fotosíntesis disminuyó en plantas inoculadas debido a la iniciación de la fructificación en las primeras. En las plantas con sólo vermicomposta y en el testigo la fotosíntesis se incrementó ligeramente en relación con la primera medición.

Cuando se aplicaron diferentes dosis de vermicomposta sin micorriza no se afectó significativamente el desarrollo de esta especie. Es probable que el efecto de la vermicomposta en estos tratamientos esté enmascarado por el alto contenido de materia orgánica presente en el suelo utilizado (6.2 %). Ninguna de las dosis de vermicomposta utilizadas afectó negativamente la colonización micorrizica, la cual fue siempre mayor que 60 %. La utilización de hongos micorrizicos arbusculares en conjunto con la vermicomposta en chile resultó benéfica, fue factible el desarrollo vegetativo y reproductivo de esta especie.

LITERATURA CITADA

Allen, F.M., W.K. Smith, T.S. Moore y M. Christensen. 1981. Comparative water relations and photosynthesis of

- mycorrhizal and non-mycorrhizal *Bouteloua gracilis* H.B.K. Lag ex steud. *New Phytol.* 88: 683-693.
- Bagyaraj, D.J. y K.R. Sreeramulu. 1982. Preinoculation with VA mycorrhiza improves growth and yield of chilli transplanted in the field and saves phosphatic fertilizer. *Plant and Soil* 69: 375-381.
- Batten, G.D. y K. Slack. 1990. Grain development in wheat (*Triticum aestivum*) ears cultured in media with different concentrations of phosphorus and sucrose. pp. 185-187. In: M.L. van Beusichem (ed.). *Plant nutrition, physiology and applications*. Kluwer Academic Publisher.
- Chamizo-Checa, A., R. Ferrera-Cerrato, M.C. González-Chávez, Varela L., A. Santizo J. y C.A. Ortiz. 1996. Germinación de esporas de *Glomus claroideum* y *G. diaphanum*. Resúmenes I Simposium Nacional de la Simbiosis Micorrízica. Xalapa, Veracruz. p 22.
- Chen, Y. y T. Solovitch. 1988. Effects of humic substances on plant growth. *Acta Horticulturae* 221: 412.
- Davies, F.F. y R.G. Linderman. 1991. Short term effects of phosphorus and VA-mycorrhizal fungi on nutrition, growth and development of *Capsicum annuum* L. CABS. Abstracts.
- Edwards, C.A., I. Burrows, K.E. Fletcher y B.A. Jones. 1985. The use of earthworms for composting farmwastes. pp. 229-242. In: J.K.R. Gasser (ed.). *Composting of agricultural and other wastes*. Elsevier Publisher. Luxemburgo, U.K.
- Flügge, U.I., M. Freisl y H.W. Heldt. 1980. Balance between metabolite accumulation and transport in relation to photosynthesis by isolated spinach chloroplasts. *Plant Physiol.* 65: 574-577.
- Guenkov, G. 1974. *Fundamentos de horticultura cubana*. Editorial Pueblo y Educación. La Habana, Cuba.
- Lauer, M.J., S.G. Pallardy, D.G. Blevins y D.D. Randall. 1989. Whole leaf carbon exchange characteristics of phosphate deficient soybeans (*Glycine max* L.). *Plant Physiol.* 91: 848-854.
- Lloyd, D.G. 1980. Sexual strategies in plants. I. A hypothesis of maternal investment during one reproductive session. *New Phytol.* 86: 69-79.
- Lu, X. y R.T. Koide. 1994. The effects of mycorrhizal infection on components of plant growth and reproduction. *New Phytol.* 128: 211-218.
- Maroto, B.J.V. 1989. *Horticultura herbacea especial*. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid, España.
- Marschner, H. y B. Dell. 1994. Nutrient uptake in mycorrhizal symbiosis. *Plant Soil* 159: 89-102.
- Matías-Crisóstomo, S. y R. Ferrera-Cerrato. 1993. Efecto de microorganismos y adición de materia orgánica en la colonización micorrízica en la recuperación de tepetates. pp. 53-61. In: J. Perez-Moreno y R. Ferrera-Cerrato (eds). *Avances de investigación del área de Microbiología de Suelos. PROEDAF-IRENAT*. Colegio de Postgraduados. Montecillo, México.
- Saif, S.R. 1986. Vesicular-arbuscular mycorrhizae in tropical forage species as influenced by season, soil texture, fertilizers, host species and ecotypes. *Angew. Bot.* 60: 125-139.
- Sawada, S., T. Hayakawa, K. Fukushi y M. Kasai. 1986. Influence of carbohydrates on photosynthesis in single rooted soybean leaves used as a source-sink model. *Plant Cell Physiol.* 27: 591-600.
- Sieverding, E. 1991. *Vesicular-arbuscular mycorrhizae management in tropical agrosystems*. Technical Cooperation Federal Republic of Germany. Eschborn.
- Sreenivasa, M.N., D.U. Krishnaraj, G.A. Gangadhara, y H.M. Manjunathai. 1993. Response of Chili (*Capsicum annuum* L.) to the inoculation of an efficient vesicular-arbuscular mycorrhizal fungus. CABS abstracts.
- Tanaka, A. y J. Yamaguchi. 1984. Producción de materia seca, componentes del rendimiento y rendimiento del grano en maíz. Centro de Botánica. Colegio de Postgraduados. Montecillo, México.
- Torres, B.A. 1993. *Interacción hongos micorrízicos-cebolla y su relación con la pudrición blanca (Sclerotium cepivorum Berk.)* Tesis de Maestría. Centro de Fitopatología. Colegio de Postgraduados. Montecillo, México.
- Trent, J.D., T.J. Svejcar y S. Christiansen. 1989. Effects of fumigation on growth, photosynthesis, water relations and mycorrhizal development of winter wheat in the field. *Can. J. Plant. Sci.* 69: 535-540.
- Villalobos, S.R.I. 1993. *Potencial de la micorriza vesicular-arbuscular en la producción de chile (Capsicum annuum L.) y cebolla (Allium cepa L.)*. Tesis de Maestría. Centro de Edafología. Colegio de Postgraduados. Montecillo, México.
- Waterer, D. y R. Coltman. 1989. Mycorrhizal infection level of bell pepper transplants influences subsequent responses to soil solution phosphorus. *J. Plant Nutrition* 12: 327-340.

INTERACCION DEL NEMATODO *Meloidogyne chitwoodi* CON TRES ESPECIES DE HONGO *Glomus* sp. EN LA PRODUCCION Y DISTRIBUCION DE MATERIA SECA DE PLANTAS JOVENES DE MAIZ

Interaction of the Nematode *Meloidogyne chitwoodi* with Three Strains of the Fungus *Glomus* sp. and the Distribution of Dry Matter of Young Maize Plants

Elizabeth Estañol Botello, Ronald Ferrera Cerrato, Carlos Sosa Moss,
J. Antonio Santizo Rincon y Roberto Quintero Lizaola.

RESUMEN

Una asociación micorrízica puede generar un incremento o una reducción en el establecimiento y la reproducción de ciertos patógenos e inclusive incrementar variables de desarrollo del cultivo asociado. En el presente estudio se evaluó la respuesta de dos variedades de maíz a la presencia de tres especies del hongo micorrízico *Glomus* sp. y el nematodo *Meloidogyne chitwoodi*, en condiciones de invernadero en Chapingo, México. Se establecieron dos experimentos factoriales, ambos en un arreglo completamente al azar, empleando en éstos 1500 esporas de cada especie de hongo micorrízico y 30 000 huevecillos-larva del nematodo. Las variables de respuesta consideradas incluyeron variables de desarrollo (altura al último nudo (AN); área foliar (AF); peso seco de raíz (PSR) y parte aérea (PSPA); también se evaluaron el porcentaje total de colonización micorrízica (PCM), porcentaje de colonización por arbusculos (PCA) y por vesículas (PCV); así como el número de esporas (NE) presentes en 100 cm³ de suelo. También se contó el número de larvas (NNL) y hembras (NNH) presentes en 1 g de raíz. Las variables de desarrollo indicaron en general una ligera disminución no significativa estadísticamente para la mayoría de las mismas, excepto PSR y PSPA a los 50 días posteriores a la inoculación, que sí mostraron una reducción significativa. Se detectó un PCM de 28, 8.74 y 1.16 %, sin presentarse diferencias entre variedades, sin embargo en la variable NE, se detectaron diferencias altamente significativas. En cuanto al desarrollo de vesículas y arbusculos durante el establecimiento del hongo micorrízico, la presencia

del nematodo no influyó. Las especies de hongo micorrízico probadas disminuyeron el NNH.

Palabras clave: *Meloidogyne chitwoodi*, *Glomus mosseae*, *G. intraradices*, *G. sp. Zac 2*, *Zea mays*, interacción, plantas jóvenes.

SUMMARY

The mycorrhizal association may induct a change of the pattern of the establishment and reproduction of some pathogens and increase some of the variables associated with the growth of the crop. In this investigation, the response of two varieties of corn to the presence of three strains of mycorrhizal fungi and the nematode *Meloidogyne chitwoodi* was evaluated in a greenhouse at Chapingo, Mexico. Two factorial experiments with complete randomized arrangement of the experimental units were established, using 1500 spores of the mycorrhizal fungi and 30 000 egg-larvae of the nematode to inoculate the experimental units. The variables assessed were height to the highest knot (AN), foliar area (AF), root dry weight (PSR) aerial part dry weight (PSPA), total percentage of colonization (PCM), percentage of colonization by arbuscles (PCA), percentage of colonization by vesicles (PCV), number of spores in 100 cm³ of soil (EN), number of larvae (NNL) and female larvae (NNH) in 1 g of root. The PCM determined were 28.00, 8.74, and 1.16 %, without significant differences between varieties, however, the variable NE did show significant differences ($\alpha=0.01$). The presence of the nematode did not influence the development of vesicles and arbuscles during the establishment of the mycorrhizal fungi but the mycorrhizal fungal strains did decrease the NNH.

Colegio de Postgraduados en Ciencias Agrícolas, 56230 Montecillo, Méx.

Aceptado: Julio de 1998.

Index words: *Meloidogyne chitwoodi*, *Glomus intraradices*, *G. mosseae*, *G. sp.* *Zac 2*, *Zea mays L.*, *interaction*, *young plants*.

INTRODUCCION

Las raíces de la mayoría de las plantas vasculares son colonizadas extensivamente por hongos micorrízicos vesículo arbuscular (V-A). Estos son organismos biotróficos obligados que pueden estimular el crecimiento y desarrollo de las plantas al mejorar la nutrición de éstas, determinándose un incremento importante en la absorción de nutrientes inmóviles (Stribley, 1990; Bethlenfalvay *et al.*, 1991). Por otra parte, se sabe que los nematodos establecen una asociación de tipo parasítica con la raíz de las plantas. Algunos autores señalan que la presencia de un hongo micorrízico eficaz reduce la invasión y reproducción de nematodos (Hussey y Roncadori, 1982; Roncadori y Hussey, 1982).

El reconocimiento, establecimiento y eficiencia de una asociación micorrízica dependen de factores como: a) tipo de hongo (su tasa de crecimiento interior y exterior en la raíz), b) planta hospedante (como genotipo, exudados radicales, geometría radical, presencia de pelos radicales y de raíces laterales) y c) los factores biofísicoquímicos del suelo (pH, humedad, textura, fertilidad, tipo de microorganismos) (Graham *et al.*, 1981; Estañol, 1987; Tester *et al.*, 1987; Smith y Giaginazzi, 1988; Varela y Estrada, 1991).

Muchos organismos que se asocian con las raíces de las plantas presentan primero una fase de reconocimiento, atraídas por los exudados radicales de las mismas. Inclusive, la eclosión de algunos géneros de nematodos es afectada por la composición de los exudados (Taylor y Sasser, 1983); sin embargo, Inserra *et al.* (1985) observaron que exudados radicales de plantas hospedantes no tuvieron efecto sobre la eclosión de larvas de *M. chitwoodi*. Estos autores indican que la temperatura del suelo es factor determinante de la eclosión y del establecimiento del nematodo. Al ir penetrando la raíz, el nematodo modifica la fisiología de su hospedante pues transforma las células no diferenciadas en células gigantes altamente especializadas que van a ser su fuente de alimentación. En estas células ocurre una intensa división mitótica con agrandamiento tanto del núcleo como del nucleolo y cambios en la composición

celular, acompañados por un engrosamiento de la raíz y la formación de agallas. Las agallas formadas por nematodos generalmente son grandes y típicas; sin embargo, *M. chitwoodi* forma agallas muy pequeñas y difíciles de observar (Anónimo, citado por Guevara, 1989).

La asociación micorrízica también genera cambios fisiológicos en la planta, los cuales pueden modificar el reconocimiento y establecimiento de los microorganismos que habitan la rizósfera (Posta *et al.*, 1995).

Kaspari (1973) observó un incremento en la respiración de raíces micorrizadas. Además, se ha detectado una acumulación de polisacáridos insolubles en la pared celular y un incremento en la producción de ligninas en el xilema de plantas en asociación (Nehemiah, 1977). Por su parte, Fries *et al.* (1996), al combinar *Glomus intraradices* con maíz, detectaron cambios fisiológicos importantes al inicio de la asociación. Durante el establecimiento de dicha asociación se lleva a cabo la degradación sucesiva de arbuscúlos. Esto implica una actividad quitinolítica elevada, lo que conlleva en sí misma la presencia de enzimas capaces de inhibir el establecimiento de otros organismos. En cebolla micorrizada se ha detectado una mayor concentración de fenilalanina y serina, sustancias que son inhibitorias de nematodos. En soya (*Glycine max.* L.) micorrizada se detectó una acumulación de coumestrol, el cual inhibió la movilidad del nematodo *Pratylenchus scribneri* (Morandi *et al.*, 1984; Dehne *et al.* y Suresh, citados por García y Ocampo, 1987).

Por otra parte, la composición biofísicoquímica de la solución del suelo es alterada por la constante demanda de sustancias minerales y la liberación de compuestos orgánicos por parte de la raíz (Marschner, 1986). En el caso de maíz, se ha detectado en los exudados radicales una gran cantidad de sustancias del tipo galactosa-arabinosa al compararlas con exudados de otros cultivos y se ha visto relación de estas sustancias en la capacidad de retención de agua y en la asociación de la raíz con otras macromoléculas (Chaboud, 1983).

Jensen (1984) señala que la dependencia micorrízica, aún entre genotipos de una misma especie vegetal, está generalmente relacionada con las características del sistema radical. Hayman (1983) señala que el inicio de la interacción micorrízica puede ser afectada si la corteza radical es rota por la

emergencia de raíces laterales como es el caso de *Zea mays* L., con lo que se ramifica la epidermis y sólo se incrementa la exudación. Dentro de las gramíneas, el arroz es generalmente menos colonizado por hongos micorrizicos que el trigo y la cebada (Vivekanandan y Fixen, 1991).

En el presente estudio se evaluó la respuesta de dos variedades de *Zea mays* (Criollo y V-29), en etapa temprana, a la presencia de los hongos micorrizicos (V-A): *Glomus* sp. Zac 2, *G. intraradices* y *G. mosseae* y del nematodo *Meloidogyne chitwoodi*, sobre las variables de desarrollo del cultivo y sobre el establecimiento de cada organismo.

MATERIALES Y METODOS

El presente trabajo se desarrolló en los invernaderos del Colegio de Postgraduados en Chapingo, México. La variedad de maíz V-29 fue proporcionada por la Sección de Semillas del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales y Agropecuarias, Campo Experimental Chapingo, mientras que el maíz Criollo procedió de Chalco, estado de México. Las especies de hongo micorrizico fueron proporcionadas por la Sección de Microbiología del Instituto de Recursos Naturales del Colegio de Postgraduados. El nematodo *Meloidogyne chitwoodi* se extrajo de raíces de papa *Solanum tuberosum* L. infectadas en forma natural, provenientes de Coapixtla, Huamantla, Tlaxcala, México.

Se establecieron dos experimentos. El Experimento 1 con el propósito de conocer el comportamiento de la interacción a lo largo de 40 días entre una especie de hongo endomicorrizico, *M. chitwoodi* y las variedades de maíz Criollo y V-29. Cada diez días se llevó a cabo un muestreo, realizándose un total de cuatro. El Experimento 2, con el propósito de conocer el comportamiento de dos variedades de maíz (Criollo y V-29), ante la presencia de tres especies de hongo micorrizico (se incluyó la especie del Experimento 1) y *M. chitwoodi*. En este caso, se realizó un muestreo único, diez días posteriores al último muestreo del Experimento 1.

Los experimentos fueron factoriales; 2X2X2 y 2X4X2, respectivamente, ambos bajo un diseño experimental completamente al azar, con 16 repeticiones el primero y cuatro el segundo. Los factores y niveles evaluados se detallan en el Cuadro 1.

Cuadro 1. Factores y niveles estudiados en los Experimentos 1 y 2.

Factor	Niveles	
	Experimento 1	Experimento 2
Nematodo	Con	Con
<i>M. chitwoodi</i>	Sin	Sin
Hongo micorrizico	<i>Glomus</i> sp Zac 2	<i>Glomus</i> sp. Zac 2
	Sin hongo	<i>G. intraradices</i>
		<i>Glomus mosseae</i>
		Sin hongo
Variedad de maíz	Criollo	Criollo
	V-29	V-29

Los hongos micorrizicos fueron propagados en plantas de *Trifolium* sp. por espacio de nueve semanas. El suelo obtenido en esta propagación fue incluido como fuente de inóculo en el sustrato de ambos experimentos. Asimismo, se cuantificó el número de esporas presentes en 100 cm³, llevando a cabo un tamizado de acuerdo con la técnica de Sieverding (1983). Los huevecillos del nematodo se extrajeron de raíces de papa *Solanum tuberosum* L, usando la técnica de Hussey y Baker (1973).

El sustrato utilizado fue una mezcla suelo: arena de río (3:2), proveniente de Lomas de San Juan, Texcoco, México y la arena de río de San Miguel Tlaixpan, en el mismo municipio. El análisis fisico-químico del sustrato se realizó en el laboratorio de Investigación y Servicio del Departamento de Suelos de la Universidad Autónoma de Chapingo, los resultados se incluyen en el Cuadro 2.

De acuerdo con Etchevers *et al.* (1985), el nivel de fósforo detectado en el sustrato es cercano a la concentración mínima para el desarrollo de maíz. Por otra parte, la textura asegura un buen desarrollo radical y el movimiento de los nematodos. En relación con la concentración de nitrógeno presente en el

Cuadro 2. Análisis físico-químico del sustrato suelo: arena de río empleado en la presente investigación.

Característica fisico-química	Valor encontrado
Textura	arena 80 % limo 8 % arcilla 12 %
Clasificación	Migajón arenoso
Reacción (pH 1:2)	8.2
Materia orgánica	1.02 %
Fósforo-Olsen	3 ppm
Nitrógeno total	0.004 %

Fuente: Estañol (1992).

sustrato, ésta fue baja, adicionando el nutrimento en una solución Long Ashton (Hewitt y Smith, 1974).

Una vez preparados los inóculos se procedió al llenado de las macetas con el sustrato, previamente tratado con bromuro de metilo a razón de 225 g por cada 120 kg de suelo aproximadamente. Después se transplantó una plántula de maíz por unidad experimental y se agregaron 1500 esporas de cada una de las especies de hongo según tratamiento y 30 000 huevecillos de *M. chitwoodi*, por lo que finalmente cada unidad experimental contenía en promedio un volumen de 1800 cc de sustrato. Se aplicó un riego por semana con solución nutritiva Long Ashton. Los otros días de la semana se regó con agua potable común.

En el Experimento 1 se hicieron cuatro muestreos, uno cada diez días y se cosecharon en cada fecha cuatro repeticiones de cada tratamiento. En el Experimento 2 se efectuó un muestreo único a los 50 días.

En cada muestreo se consideraron las variables: altura (cm) al último nudo (AN), área foliar (cm²), estimada a partir de la longitud de hojas mediante el modelo logarítmico por medio del procedimiento de mínimos cuadrados; AF=0.414 (long^{1.328}), cuyo ajuste logrado fue: r=0.96, un error estándar =0.34 y un alfa=0.0001, peso seco (g) de raíz (PSR) y parte aérea (PSPA). Se consideró el porcentaje total de colonización (PCM), el porcentaje de colonización por arbusculos (PCA) y por vesículas (PCV), empleando la técnica de Phillips y Hayman (1970). Se evaluó número de esporas (NE) presentes en 100 cc de suelo, número de larvas (NNL) y hembras (NNH) del nematodo en un gramo de raíz, mediante la técnica de Hussey y Baker, modificada por Sosa-Moss, citado por Hernández (1988).

RESULTADOS Y DISCUSION

Efecto de los Hongos Micorrízicos sobre la Producción y Distribución de Materia Seca de Plantas Jóvenes de Maíz

La interpretación de los resultados se realizó tomando en cuenta ambos experimentos, dado que la especie de hongo micorrízico *Glomus* sp. Zac 2, el nematodo y las variedades de maíz fueron similares en ambos experimentos. Se consideró al muestreo único del Experimento 2 como el quinto muestreo del Experimento 1. A 50 días de establecido el

Experimento 2, se encontraron diferencias significativas desde un punto de vista estadístico en el porcentaje de colonización micorrízica al comparar las especies de hongo involucradas. Sin embargo, cabe señalar que la colonización en todos los casos fue baja, pues se obtuvieron valores de 28, 8.74 y 1.16 % para *Glomus intraradices*, *Glomus* sp. Zac 2 y *Glomus mosseae*, respectivamente. Estos valores se consideran bajos si se comparan con otros cultivos como trébol o cebolla, que son altamente dependientes de la asociación.

Al analizar las variables AN, PSPA, PSR y AF, la presencia del hongo *Glomus* sp. Zac 2 no influyó en las primeras cuatro fechas de muestreo; sin embargo, en la quinta fecha las diferencias fueron estadísticamente significativas en las variables PSPA y PSR, registrándose valores menores en las plantas micorrizadas (Figura 1).

De acuerdo con algunos autores, una asociación micorrízica no siempre incrementa el rendimiento del cultivo asociado (Daft y Nicolson, 1966). Así, Powell (1979) determinó que el hongo *Glomus tenue*, el cual fue parte de un grupo de hongos micorrízicos nativos, tuvo poco efecto en el crecimiento de los cultivos probados (*Trifolium repens* L. y *Lolium perenne* L.).

En maíz, Quintero (1991) observó que a pesar de que varios hongos micorrízicos se establecieron y colonizaron el sistema radical de la planta, no se incrementó ninguna de las variables de rendimiento, actuando de forma independiente al grado de infección así como a la especie de hongo probada. Por su parte, Frey y Schuepp (1992) determinaron, al asociar un hongo micorrízico, una planta leguminosa (*Trifolium alexandrinum* L.) y maíz, con objeto de conocer la transferencia de nitrógeno fijado por la planta leguminosa hacia el maíz, que el peso seco de maíz no se afectó con la presencia de la asociación micorrízica, en cambio, el contenido de nitrógeno total fue mayor en plantas micorrizadas. Por otro lado, Posta *et al.* (1995), al combinar maíz con el hongo *Glomus mosseae*, observaron que la asociación no afectó el peso seco de brotes, pero el peso seco de raíz fue ligeramente inhibido con respecto al control no inoculado.

Bethlenfalvay *et al.* (1983), en soya desarrollada en un sustrato inerte, observaron una disminución en las variables asociadas al rendimiento cuando se inoculó con *Glomus fasciculatum*, atribuyendo esto a un comportamiento de parasitismo del hongo hacia el

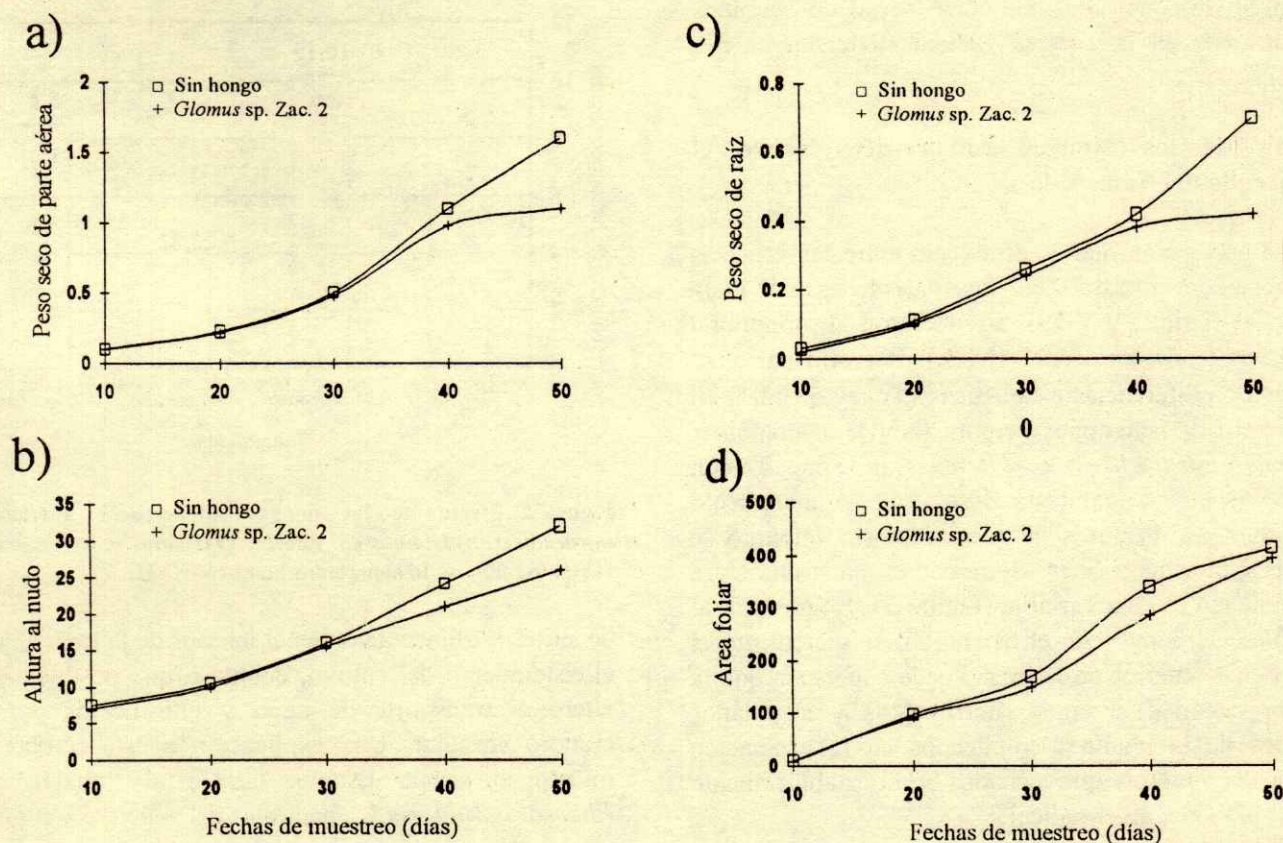


Figura 1. Efecto de *Glomus sp. Zac. 2* a través del tiempo, en las variables: a) Peso seco de parte aérea, b) Peso seco de raíz, c) Altura al nudo, d) Área foliar.

cultivo. Dicho comportamiento se presentó cuando se incluyó en la solución nutritiva diferentes niveles de fósforo (0, 25, 50, 100 y 200 mg, en forma de hidroxipatita). Los autores señalan como primera causa de la disminución del rendimiento, cuando la concentración de fósforo fue de 0 a 25 mg, al efecto del hongo como demandante de carbohidratos sobre su hospedero. Mencionan, además, que una disminución en el rendimiento al ocurrir la asociación micorrízica, puede pasar desapercibida cuando la biomasa relativa del hongo es pequeña o cuando la capacidad fotosintética de la planta hospedera existe o suple la demanda adicional de carbohidratos. Sin embargo, cuando la biomasa fungica es grande o cuando la tasa fotosintética es subóptima, el hongo vesículo arbuscular puede actuar como parásito inhibiendo de forma significativa el desarrollo vegetal (Daft y El Giahmi, 1978).

En el presente estudio, las diferentes especies probadas de hongo micorrízico mostraron un comportamiento semejante a lo descrito con *Glomus sp. Zac. 2*

en párrafos anteriores; esto es, redujeron aunque no de forma significativa, las variables AN, PSPA y AF. Esto se debe a que el maíz presenta características que le permiten ser independiente de la asociación micorrízica (Baker *et al.*, 1970; 1971). Al respecto, St. John (1980) señala que la dependencia micorrízica de una planta en particular está determinada por características del sistema radical; así entre menor sea la capacidad de producción de pelos radicales y de raíces secundarias, mayor será su dependencia hacia dicha asociación (como en el caso de *Allium cepa* L.). Hayman (1983) señala que el inicio de la infección micorrízica puede ser afectado si la corteza radical es rota por la emergencia de raíces laterales, con lo cual se ramifica la epidermis y sólo se incrementa la exudación (como en el caso de las gramíneas).

Por otro lado, se ha determinado que las raíces de cebolla a diferencia de las de maíz, presentan pocas raíces laterales y una hipodermis no interrumpida a lo largo de la raíz; en cambio, en maíz la continuidad de la hipodermis es destruida por la emergencia de raíces

laterales, lo que ocasiona una serie de caminos apoplásticos en la corteza radical (Peterson *et al.*, 1982).

Efecto de los Hongos Micorrízicos sobre el Desarrollo del Nematodo

La asociación que se estableció entre las especies de hongo micorrízico en las variedades de maíz probadas (Criollo y V-29), no afectaron la proporción de larvas de *M. chitwoodi* (NNL). Por otra parte, se observaron diferencias estadísticas (Tukey $\alpha=0.01$) en el número de nematodos hembra (NNH) al combinar *Glomus intraradices* o *Glomus* sp. Zac 2 con *M. chitwoodi* manifestándose un incremento importante de hembras de nematodo; sin embargo se observó, al asociar *G. mosseae* con el maíz, una clara disminución en esta variable (Figura 2). En general, al combinar el hongo con el nematodo, se incrementó el NNH en el interior de la raíz. Puede suponerse que la mayor cantidad de agua, nutrimentos y asimilados propios de la planta e implicados en la asociación micorrízica fueron aprovechados en el establecimiento del nematodo a nivel radical.

A este respecto se conoce que la reproducción de nematodos puede ser estimulada por la presencia de ciertos hongos micorrízicos. Hussey y Roncadori (1982), al trabajar con *Arachis hypogaeae* L., observaron un incremento ocho veces mayor en el número de huevecillos por gramo de raíz, comparado con plantas no micorrizadas. En otras pruebas con la misma especie empleando un sistema de raíz dividida, estos autores observaron que la reproducción del nematodo fue mayor al estar presente el hongo, lo cual ocurrió sólo cuando ambos organismos estuvieron presentes en el mismo lado de la raíz.

En el presente estudio se observó que el efecto de los hongos micorrízicos sobre el establecimiento de *Meloidogyne chitwoodi* varía de acuerdo con la especie de hongo involucrado.

Efecto del Nematodo sobre el Crecimiento y Producción de Materia Seca en Maíz

En las variables AN, PSPA, PSR y AF los valores fueron menores al estar presente el nematodo. Se observaron diferencias estadísticas (Tukey $\alpha=0.05$) en la variable PSR en el cuarto muestreo (Figura 3). Lo anterior indica que el nematodo durante la formación

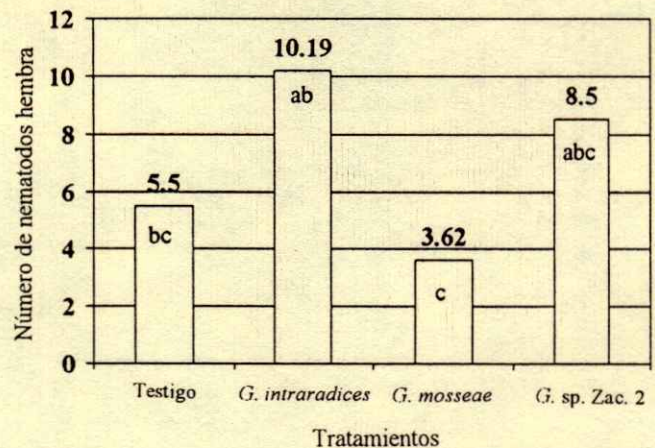


Figura 2. Efecto de los hongos micorrízicos a) *Glomus intraradices*, b) *Glomus* sp. Zac 2 y c) *Glomus mosseae* en la variable número de nematodos hembra (NNH).

de sitios de alimentación en el interior de la raíz, afectó el rendimiento del cultivo, debido a que posiblemente alteró el transporte de agua y nutrimentos por el cilindro vascular. Una explicación a este comportamiento lo señala Estañol (1987) al trabajar con *Phaseolus vulgaris* L., bacterias del género *Rhizobium phaseoli* y el nematodo *Meloidogyne incognita*. Al comparar tratamientos solos y en combinación, observó que los nódulos bacterianos fijadores de nitrógeno, que normalmente son de color rosa y en pocas ocasiones blancos o verdes y de consistencia blanda, en los tratamientos asociados con el nematodo, los nódulos fueron blanquecinos y de consistencia dura. Al realizar observaciones histológicas de nódulos bacterianos, se detectó la presencia de nematodos hembra, y de células gigantes bloqueando el haz vascular involucrado.

Efecto del Nematodo sobre el Desarrollo de los Hongos Micorrízicos

Tanto el porcentaje de colonización micorrízica (PCM) como el número de esporas (NE) por cada 100 g de suelo, disminuyeron en forma significativa ($\alpha=0.05$) en el último muestreo al estar presente el nematodo (Figuras 4 y 5). Por otro lado, en el Experimento 2, al asociar los diferentes hongos micorrízicos con el nematodo, se observó también un comportamiento similar, sin embargo, en este caso sólo la variable NE manifestó diferencias altamente significativas.

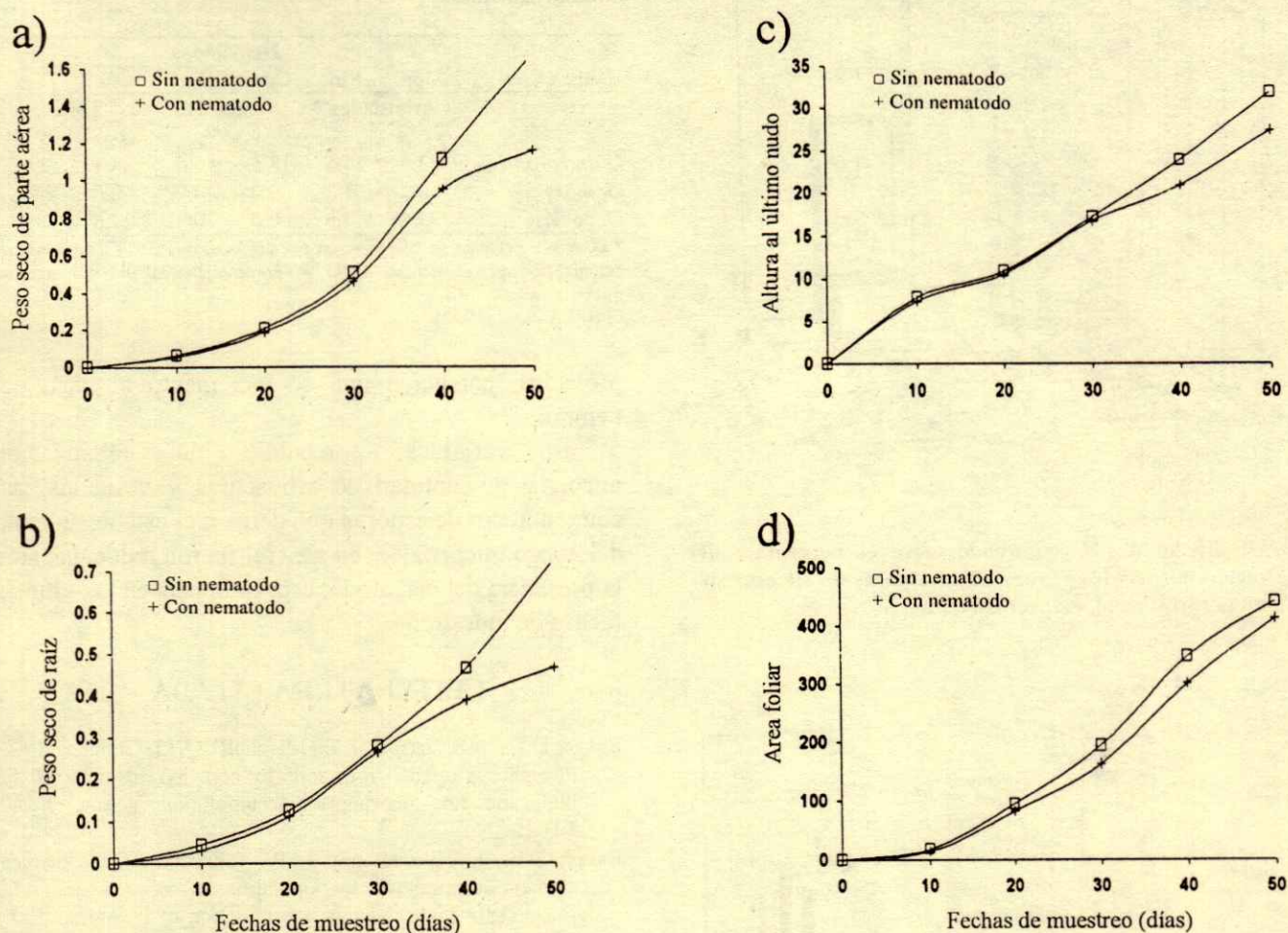


Figura 3. Efecto de *M. chitwoodi* a través del tiempo, en las variables a) Peso seco de parte aérea, b) Peso seco de raíz, c) Altura al nudo, d) Área foliar.

Con relación a la colonización micorrízica, se observó que al estar presente el nematodo se provocó una disminución en la cantidad de arbusculos (PCA) y en el PCM. Sin embargo, las vesículas (PCV) se incrementaron levemente, en el caso de *Glomus intraradices* al estar presente el nematodo (Cuadro 3). En este caso no se llevó a cabo el análisis estadístico correspondiente. Sin embargo, se observó una reducción en la colonización así como en la presencia de arbusculos, reduciendo por consecuencia el número de esporas presentes en 100 g de suelo.

CONCLUSIONES

1. Las especies de hongo micorrízico probadas prácticamente no colonizaron las variedades de maíz.
2. En general la asociación micorrízica generó una disminución en las variables relacionadas con la producción y materia seca del cultivo probado, incrementándose este efecto a través del tiempo.
3. Al combinar las especies de hongo (V-A) *G. intraradices* o *Glomus* sp. Zac 2 con el nematodo, se observó un incremento importante en la variable

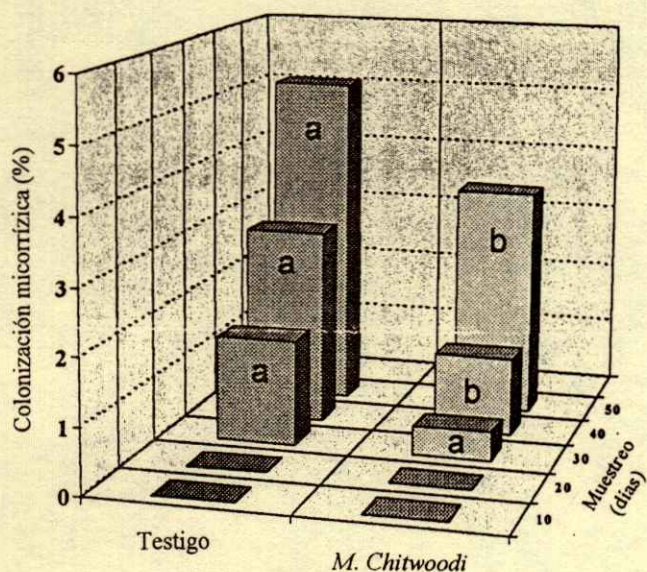


Figura 4. Efecto de *M. chitwoodi* sobre el porcentaje de colonización micorrizica y número de esporas de *Glomus* sp. Zac 2 en la raíz y suelo, respectivamente.

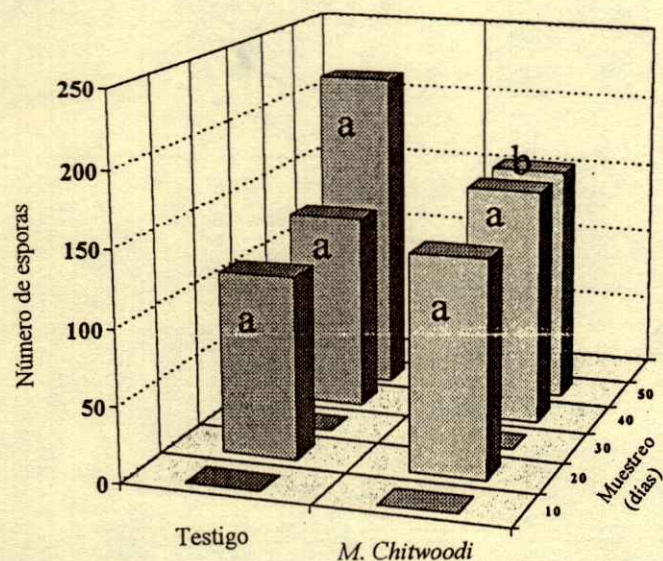


Figura 5. Efecto de *M. chitwoodi* a cincuenta días de inoculados los hongos *Glomus intraradices*, *G. mosseae* y *G. Zac 2*, sobre la variable Número de esporas en 100 g de suelo.

número de nematodos hembra y lo contrario cuando se asoció con *Glomus mosseae*.

4. La presencia del nematodo disminuyó levemente las variables de producción y peso seco de los materiales

Cuadro 3. Efecto de *Meloidogyne chitwoodi* sobre el PCA†, PCV y PCM a cincuenta días de inoculados los microorganismos.

Hongo (V-A)	Nematodos					
	Con		Sin		Total	
	Arbúsculos	Sin	Vesículas	Sin	Con	Sin
<i>G. intraradices</i>	22.6	24.5	18.5	16.0	28.1	27.7
<i>G. mosseae</i>	0.2	1.3	0.0	0.0	0.5	1.8
<i>G. sp. Zac 2</i>	3.8	4.6	0.4	0.4	7.6	9.9

† PCA = Porcentaje de colonización por arbúsculos. PCV = Porcentaje de colonización por vesículas. PCM = Porcentaje total de colonización micorrizica.

Fuente: Estañol (1992).

probados, condición que se incrementó al paso del tiempo.

5. Las variables porcentaje de colonización micorrizica, cantidad de arbúsculos y vesículas, así como número de esporas que definen el establecimiento del hongo micorrizico, en general fueron reducidas ante la presencia del nematodo, especialmente en las últimas fechas de muestreo.

LITERATURA CITADA

- Baker, D.E., A.E. Jarrell, L.E. Marshall y W.I. Thomas. 1970. Phosphorus uptake from soils by corn hybrids selected for high and low phosphorus accumulation. *Agron. J.* 62: 103-106.
- Baker, D.E., F.J. Wooding y M.W. Johnson. 1971. Chemical element accumulation by populations of corn (*Zea mays* L.) selected for high and low accumulation of P. *Agron. J.* 63: 404-406.
- Bethlenfalvay, G.J., H.C. Bayne y R.S. Pacovsky. 1983. Parasitic and mutualistic association between a mycorrhizal fungus and soybean. *Phys. Plant* 57: 543-549.
- Bethlenfalvay, G.J., M.G. Reyes S., S.B. Camel y R. Ferrera C. 1991. Nutrient transfer between the root zones of soybean and maize plants connected by a common mycorrhizal mycelium. *Physiol. Plant* 82: 423-432.
- Chaboud. A. 1983. Isolation, purification and chemical composition of maize root cap slime. *Plant Soil* 395-402.
- Daft, M.J. y A.A. El Giahmi. 1978. Effect of *Glomus* infection on three legumes. pp. 581-592. In: E.F. Syer, B. Mosse, and P.B. Tinker (eds). *Endomycorrhizae*. Academic Press, London, New York.
- Daft, M.J. y T.H. Nicolson. 1966. Effect of endogone mycorrhiza on plant growth. *New Phytol.* 65: 343-350.
- Estañol, B.E. 1987. Efecto de la inoculación de *Rhizobium phaseoli* y de la endomicorriza vesículo-arbuscular (V-A) sobre el parasitismo de los nematodos *Meloidogyne incognita* y *ditylenchus dipsaci* en cultivos de frijol y cebolla. Tesis de Licenciatura. ENEP Zaragoza, UNAM. México.

- Estañol, B.E. 1992. Estudio de la interacción entre maíz con alta capacidad de asociación con la micorriza V-A y su comportamiento hacia el nematodo *Meloidogyne chitwoodi*. Tesis de Maestría en Ciencias Agrícolas, Especialista en Edafología. Colegio de Postgraduados, México.
- Etchevers, D.J., A. Trinidad S., S. Guerrero M., A. Pérez G., D. García L. y G. Morfin R. 1985. Levantamiento nutricional del maíz en la Sierra Tarasca de Michoacán. *Agrociencia* 60: 143-154.
- Frey, B. y H. Schuepp. 1992. Transfer of symbiotically fixed nitrogen berseem (*Trifolium alexandrinum* L.) to maize via vesicular-arbuscular mycorrhizal hyphae. *New Phytologist* 122-3: 447-454.
- Fries, L.L.M., R.S. Pacovsky y G.R. Safir. 1996. Expression of isoenzymes altered by both *Glomus intraradices* colonization and formononetin application in corn (*Zea mays* L.) roots. *Soil-Biology and Biochemistry* 28: 981-988.
- García, G.J.M. y J.A. Ocampo. 1987. Interacción entre micorrizas V-A y organismos patógenos de plantas. *Ann. Edafol. Agrobiol.* (111 trabajos recapitulativos). 1233-1245.
- Graham, J.H., R.T. Leonard y J.A. Menge. 1981. Membrane-mediated decrease in root exudation responsible for phosphorus inhibition of vesicular-arbuscular formation. *Plant Physiol.* 68: 548-552.
- Guevara, L.J. 1989. Reacción de cinco variedades de papa a la interacción *Globodera rostochiensis-Meloidogyne chitwoodi*. Tesis de Maestría en Ciencias. Colegio de Postgraduados. Centro de Fitopatología, Montecillo, México.
- Hayman, D.S. 1983. The physiology of vesicular-arbuscular endomycorrhizal symbiosis. *Can. J. Bot.* 61: 944-963.
- Hernández, M.J. 1988. Estudio de la interacción entre *Phytophthora parasitica* Dastur y *Meloidogyne* sp. en la "pata prieta" de la jamaica (*Hibiscus sabdariffa* L.) e histología de ambos patógenos. Tesis de Maestría. Especialidad en Fitopatología, Colegio de Postgraduados. Montecillo, México.
- Hewitt, E.J. y T.A. Smith. 1974. *Plant mineral nutrition*. English Universities Press. Engly.
- Hussey, R.S. y K.R. Baker. 1973. A comparison of methods of collecting inocula of *Meloidogyne* spp. including new technique. *Plant Dis. Rep.* 57: 1025-1028.
- Hussey, R.S. y R.W. Roncadori. 1982. Vesicular arbuscular mycorrhizae may limit nematode activity and improve plant growth. *Plant Disease* 66: 9-14.
- Insera, R.N., N. Vovlas, J.H. O'Bannon y G.D. Griffin. 1985. Development of *Meloidogyne chitwoodi* on wheat. *J. of Nem.* 17: 322-326.
- Jensen, A. 1984. Responses of barley, pea and maize to inoculation with different vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi in irradiated soil. *Plant Soil* 78: 315-323.
- Kaspari, H. 1973. *Arch. Microbiology* 92: 201-207.
- Marschner, H. 1986. *Mineral nutrition of higher plants*. London Academica Press.
- Morandi, D., J.A. Bayley y V. Gianinazzi-Pearson. 1984. Isoflavonoid accumulation in soybean roots infected with vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi. *Physiol. Plant Pathol.* 24: 357-364.
- Nehemiah, J. 1977. Untersuchungen über den Einfluss des endotrophen Mycorrhizapilzes *Glomus mosseae*. Gerd & Trappe (*Endogone mosseae*, Nicolson & Gerd.) auf *Zea mays* L. Doctoral Dissertation. Rheinischen Friedrich-Wilhelms Univ. Bonn. West Germany.
- Peterson, C.A., M.E. Emanuel y C. Wilson. 1982. Identification of a Casparian band in the hypodermis of onion and corn roots. *Can. J. Bot.* 60: 1529-1535.
- Phillips, J.M. y D.S. Hayman. 1970. Improved procedures for clearing roots and staining parasitic and vesicular arbuscular mycorrhizal fungi, for rapid assessment of infection. *Trans. Br. Mycol. Soc.* 55: 158-161.
- Posta, K., H. Marschner y V. Roheld. 1995. Manganese reduction in the rhizosphere of mycorrhizal and nonmycorrhizal maize. *Mycorrhiza* 5-2: 119-124.
- Powell, C.L. 1979. Inoculation of white clover and ryegrass seed with mycorrhizal fungi. *The New Phytologist* 83: 81-85.
- Quintero, R. M. 1991. Evaluación del efecto de la endomicorriza vesículo-arbuscular en la nutrición de plantas mediante la técnica DRIS. Tesis profesional. Ingeniero Agrónomo Esp. en Fitotecnia. Universidad Autónoma Chapingo, México.
- Roncadori, R.W. y R.S. Hussey. 1982. Mycorrhizae in interaction with other microorganisms. *Endomycorrhizae*. pp. 219-224. In: N.C. Schenck (ed.) *Methods and principles of mycorrhizal research*. The American Phytopath. Society. USA.
- Sieverding, E. 1983. Métodos para investigación de la micorriza vesículo arbuscular en el laboratorio. CIAT-Proyecto Micorriza, Cali-Colombia.
- Smith, S.E. y V. Giaginazzi P. 1988. Physiological interactions between symbionts in vesicular-arbuscular mycorrhizal plant. *Ann. Rev. Plant Mol. Biol.* 39: 221-244.
- St. John, T.V. 1980. Root size, root hairs and mycorrhizal infections: A reexamination of Baylis's hypothesis with tropical trees. *New Phytologist* 84: 403-487.
- Stribley, D.P. 1990. Mycorrhizal associations and their significance. pp. 85-101. In: H.D. Ravibnovich and J.L. Brewster (eds). *Onions and allied crops Vol. II. Agronomy, biotic interactions, pathology and crop protection*. CRC Press., Boca Ratón, Florida.
- Taylor, A.L. y J.N. Sasser. 1983. *Biología, identificación y control de nematodos del nódulo de la raíz*. Carolina del Norte de E.U.A.
- Tester, M., S.E. Smith y F.A. Smith. 1987. The phenomenon of non mycorrhizal plants. *Can. J. Bot.* 65: 419-431.
- Varela, F.L. y A. Estrada-Torres. 1991. El papel de los microorganismos de la rizosfera y de la micorriza en la absorción de nutrientes minerales y agua. *Memorias del X Curso-Taller de Otoño*. 1-29 Nov. CYCY, Mérida, Yucatán, México.
- Vivekanandan, M. y P.E. Fixen. 1991. Cropping systems effects on mycorrhizal colonization, early growth and phosphorus uptake of corn. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 55: 136-140.

INTERRELACIONES ENTRE VARIABLES DEL SUELO Y DE LAS GRAMINEAS EN EL PASTIZAL SEMIARIDO DEL NORTE DE DURANGO

Interrelations Between Soil and Gramineous Variables in Semiarid Grassland in the North of Durango

Raúl Serrato Sánchez¹, Celso Manuel Valencia Castro y Felipe del Río Olague

RESUMEN

El tipo de vegetación natural que cubre los suelos de las zonas semiáridas de México es el pastizal mediano abierto, el cual es considerado como la fuente principal de alimento del ganado que se cría bajo el sistema de producción extensivo. En virtud de que se desconoce la existencia de estudios básicos que expliquen la relación o dependencia, así como su magnitud, que guardan un conjunto de variables de la vegetación natural con el conjunto de variables del suelo, se originó esta investigación. El área de estudio se delimitó dentro de la vegetación semiárida dominada por pastizal de gramíneas con ligeras invasiones de especies arbustivas de los municipios de Villa Ocampo, Villa Hidalgo, Indé y San Pedro del Gallo en el norte del estado de Durango. Se midieron 15 variables del suelo y cuatro de la vegetación de gramíneas y se utilizó la correlación canónica para obtener un modelo en el cual se conociera el grado de asociación existente entre el grupo de variables del suelo y el grupo de variables de la vegetación, así como el grado de participación de cada una de ellas en el modelo. De 15 variables del suelo analizadas, sólo siete fueron las que mostraron asociación importante con las variables de la vegetación. Las variables del suelo que mostraron mayor asociación con las variables químicas de las gramíneas fueron, en orden de importancia, las siguientes: conductividad eléctrica, sulfatos, nitratos, materia orgánica, arcilla, fósforo y limo. El análisis del comportamiento de grupos de variables en sistemas áridos y semiáridos se encontró reportado escasamente en la literatura científica.

Palabras clave: *Interrelaciones, pastizal de gramíneas, correlación canónica.*

¹ División de Estudios de Posgrado, Facultad de Agricultura y Zootecnia, Universidad Juárez del Estado de Durango.

Aceptado: Febrero de 1999.

SUMMARY

The natural vegetation covering the soil of the semiarid areas in Mexico is the open medium grassland, which is the principal source of food for cattle under extensive production systems. Due to the lack of basic studies explaining the relationship or dependency, as well as their extent between a group of variables of the natural vegetation and a group of soil variables, this study was designed. The study area was dominated by gramineous with a light invasion of shrub species in the municipalities of Villa Ocampo, Villa Hidalgo, Indé, and San Pedro del Gallo, in the north of the State of Durango. Fifteen soil variables and four of the gramineous vegetation were measured using the canonical correlation to obtain a model determining the association degree between the group of soil variables and those of the vegetation, as well as the degree of participation of each of those variables in the model. Only seven of 15 soil variables analyzed showed major association with the vegetation variables. The soil variables that showed major association with the chemical variables of the gramineous were, in order of importance, the following: electrical conductivity, sulfate, nitrate, organic matter, clay, phosphorus, and silt, proving the stated hypothesis. Performance analysis of groups of variables in arid and semiarid systems has been reported scantily in scientific literature.

Index words: *Interrelations, gramineous grassland, canonical correlation.*

INTRODUCCION

El tipo de vegetación natural que cubre los suelos de las zonas semiáridas de México es el pastizal mediano abierto, el cual es considerado como la fuente principal de alimento del ganado que se cría bajo el sistema de producción extensivo. El estado de Durango

cuenta con 46 438 km², dentro de las regiones áridas y semiáridas, de pastos naturales (INEGI, 1991) que sirven de alimento para bovinos, caprinos, ovinos y equinos, además de la fauna silvestre mayor, destacando, como sistema de producción, la venta de carne en forma de becerros al destete para exportación, y la venta de cabritos en el mercado nacional.

Dada la importancia económica que la producción de carne representa en la región de pastizales del norte del Estado, se ha efectuado una gran cantidad de investigación aplicada sobre el suelo, la vegetación y el animal (Fierro, 1987). Sin embargo, se desconoce la existencia de estudios básicos que expliquen la relación o dependencia, así como su magnitud, que guardan un conjunto de variables de la vegetación natural con el conjunto de variables del suelo lo que motivó la realización de este estudio. Por inferencia de los resultados de investigaciones agronómicas, en este trabajo se planteó la hipótesis de que variables como el nitrógeno, el fósforo y la materia orgánica presentes en el suelo serían las principales para promover la cantidad de proteína en las gramíneas, aunque el objetivo fue determinar la relación conjunta entre un grupo de variables del suelo con un grupo de variables del pastizal de gramíneas de la vegetación semiárida en los municipios de Villa Ocampo, Villa Hidalgo, Indé y San Pedro del Gallo, al norte del estado de Durango.

MATERIALES Y METODOS

Area de Estudio

El área de estudio se delimitó dentro de la vegetación semiárida dominada por pastizal de gramíneas con ligeras invasiones de especies arbustivas de los municipios de Villa Ocampo, Villa Hidalgo, Indé y San Pedro del Gallo en el norte del estado de Durango, los cuales ocupan una extensión territorial aproximada de 4680.95 km² que se extienden geográficamente entre las coordenadas 25° 50' y 25° 48' de latitud norte y 104° 32' y 104° 47' de longitud oeste (Figura 1). La precipitación media anual varía de 300 a 550 mm y la temperatura fluctúa entre 17.5 y 19.5 °C.

El trabajo de campo se realizó a mediados de otoño de 1994. Para tener la seguridad de que los puntos de muestreo se encontraban dentro de la vegetación

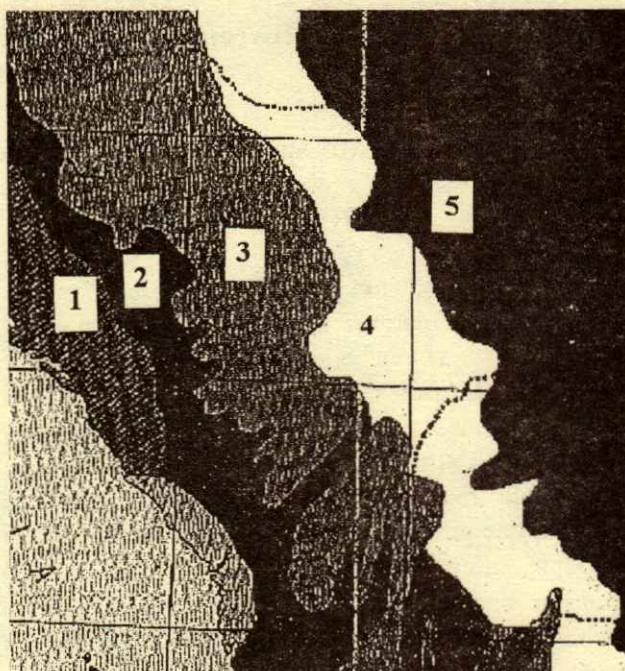


Figura 1. El pastizal de la región semiárida del estado Durango (color claro y número 4) se extiende a lo largo de la cara oriental de la Sierra Madre Occidental (Rzedowski, 1983).

semiárida se tomó como referencia las cartas de uso del suelo del Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI, 1989). En ellas se ubicaron 44 puntos tratando de que fueran lo más representativo posible del área de estudio. 22 puntos de muestreo correspondieron a los dos municipios ubicados geográficamente más al norte y otros 22 puntos de muestreo en los dos restantes municipios ubicados más al sur (Figura 2). Dichos puntos se localizaron en el recorrido de campo y en ellos se tomaron las muestras de suelo y de vegetación.

Observación de Variables

En cada punto, en un radio aproximado de 50 m, se tomaron tres muestras de suelo de los primeros 30 cm de profundidad por considerar que ahí es en donde se encuentran los nutrientes que las gramíneas, por su sistema radical fibroso, pueden tomar e incorporar a sus tejidos; estas muestras fueron llevadas al laboratorio para su análisis físico y químico resultando las variables que se presentan en el Cuadro 1.

Cuadro 1. Variables medidas, con sus unidades y métodos de determinación, en el pastizal semiárido del norte del estado de Durango.

Variable	Símbolo	Método de determinación	Unidad
Arena	Arena	Hidrómetro de Boyoucos	%
Limo	Limo	Hidrómetro de Boyoucos	%
Arcilla	Arcilla	Hidrómetro de Boyoucos	%
Materia orgánica	MO	Walkley y Black (determinación de titulación volumétrica)	%
Bicarbonatos	HCO ₃	Titulación H ₂ SO ₄ (determinación volumétrica)	meq L ⁻¹
pH	pH	Potenciómetro digital	pH
Nitratos	NO ₃	Fotocolorímetro	ppm
Fósforo	P	Olsen	ppm
Potasio	K	Espectrofotómetro de absorción atómica	meq L ⁻¹
Conductividad eléctrica	CE	Conductímetro digital	mmho cm ⁻¹
Calcio	Ca	Titulación de EDTA	meq L ⁻¹
Sodio	Na	Espectrofotómetro de absorción atómica	meq L ⁻¹
Sulfatos	SO ₄	Turbidimétrico, método del cloruro de bario	meq L ⁻¹
Cloruros	Cl	Titulación nitrato de plata volumétrico	meq L ⁻¹
Magnesio	Mg	Titulación de EDTA	meq L ⁻¹

En el pastizal se midió cobertura basal de gramíneas (%) por el método de la línea de puntos de contacto o marco de punto, descrito por Pieper (1976) y se tomaron aleatoriamente tres muestras utilizando un aro de .25 m² cortando las gramíneas a ras del suelo para, en el laboratorio, hacer el análisis bromatológico para obtener las variables proteína cruda (%), calcio (ppm) y fósforo (ppm).

Análisis Estadístico

Con el afán de conocer las características generales del suelo y las gramíneas del área de estudio se obtuvieron los estimadores de uno y otro factor. Con el mismo objetivo se observó la correlación existente entre variables originales de la vegetación, del suelo y de ambos factores juntos.

Se utilizó la correlación canónica para obtener un modelo en el cual se conociera el grado de asociación existente entre el grupo de variables del suelo y el grupo de variables de la vegetación, así como el grado de participación de cada una de ellas en el modelo, el cual, según Hair *et al.* (1992), se formula:

$$Y_1 + Y_2 + Y_3 + \dots + Y_n = X_1 + X_2 + X_3 + \dots + X_n$$

En donde Y₁ a Y_n son las variables dependientes, y X₁ a X_n son las variables independientes. En este estudio se tomó como grupo de variables independientes a las del suelo y como grupo de variables dependientes a las del pastizal pretendiendo conocer la fuerza de

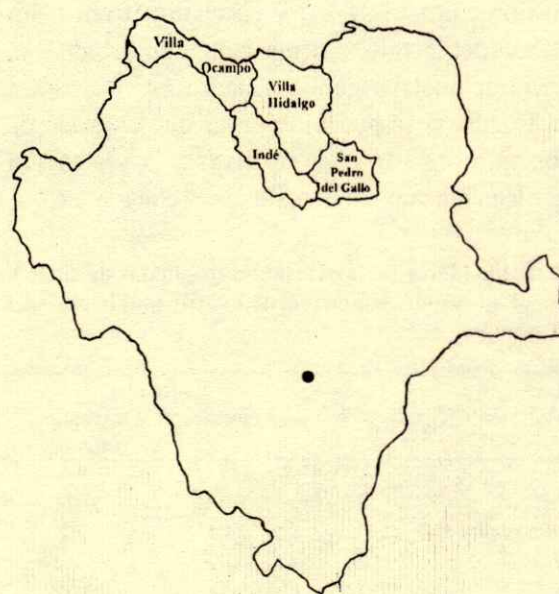


Figura 2. Localización geográfica de los cuatro municipios en estudio.

asociación entre los dos grupos (Johnson y Wichern, 1982), aunque, como es de esperarse, no todas las variables participan de la misma manera en la correlación canónica obtenida. El análisis estadístico de correlación canónica proporciona también coeficientes para cada variable que muestran el grado de importancia para cada una de ellas. Entre más alto sea el valor, ya sea negativo o positivo, mayor será la importancia de esa variable (Digby y Kempton, 1987). El paquete estadístico usado para el análisis mencionado fue el SAS (SAS Institute Inc., 1985).

RESULTADOS Y DISCUSION

Una de las principales características de los pastizales naturales es la cobertura basal, la cual se reporta para las zonas semiáridas de Durango mayor que 75 % en pastizales con buena condición (COTECOCA, 1979); en este estudio sólo se encontró 7.7 % (Cuadro 2) corroborando lo encontrado por Ochoa *et al.* (1987) respecto al sobrepastoreo a que han sido sometidas estas áreas a través de los años. De acuerdo con este estudio, la pérdida de cobertura basal es alarmante, pues es de suponerse que a la par de la vegetación también se está perdiendo el suelo. El contenido de proteína cruda en los pastos fue similar a 8.5 % reportado en esa misma fuente (COTECOCA, 1979).

El suelo es ligeramente alcalino (pH = 8.03), pobre en materia orgánica (2.01 %) y de textura franca. La relación Ca:P del forraje es demasiado alta, debido a la baja concentración del segundo (Cuadro 2).

En el Cuadro 3 se puede observar que el grado de asociación entre las variables relativas a la vegetación es baja. Únicamente sobresale la relación de la

Cuadro 2. Estimadores de las variables originales de suelo y vegetación de la región semiárida de cuatro municipios del norte de Durango.

Variable	Estimador	
	Media	Desviación estándar
Suelo		
pH	8.03	0.24
Materia orgánica (MO)	2.01	0.85
Ca	3.42	1.52
Arena	46.81	12.57
Limo	27.00	6.88
Arcilla	27.09	11.27
Conductividad eléctrica (CE)	0.63	0.30
Mg	1.45	0.73
Na	1.02	0.31
K	0.43	0.22
HCO ₃	3.01	1.33
SO ₄	1.19	1.13
Cl	1.77	0.40
NO ₃	11.88	9.56
P	9.57	4.29
Vegetación		
Proteína cruda	8.53	1.61
Calcio	0.92	0.22
Fósforo	0.009	0.021
Cobertura	7.77	10.23

Cuadro 3. Matriz de correlaciones entre variables originales de la vegetación de la región semiárida de cuatro municipios del norte de Durango.

	Ca	P	Cobertura
Proteína	0.13	-0.16	-0.24
Ca	1.00	-0.18	-0.15
P		1.00	0.86
Cobertura			1.00

cobertura basal de las gramíneas y el contenido foliar de fósforo (0.86).

Con respecto a las variables indicadoras del suelo, en el Cuadro 4 se observa una estructura de correlación importante, destacándose las relaciones correspondientes a limo: NO₃ (0.42), CE: SO₄ (0.79) y SO₄: NO₃ (0.42).

Tanto en el Cuadro 4 como en el Cuadro 5 sólo se observan las siete variables del suelo que participaron en los modelos de correlación canónica, aceptando que las otras ocho variables no tuvieron relación importante ni dentro del grupo de suelo ni con las variables del grupo de vegetación.

Las relaciones encontradas entre las variables de vegetación y suelo son moderadas, sobresaliendo la relación positiva de limo:proteína (0.36) y la de arcilla:Ca (0.36); y la relación negativa de NO₃:P (-0.36) y NO₃:cobertura basal (-0.38) (Cuadro 5).

En el Cuadro 6 se presentan las primeras dos variables canónicas que mostraron los valores más altos de correlación (0.596 y 0.555, respectivamente). El nivel de probabilidad que rechaza la hipótesis nula de que todas las correlaciones canónicas son cero en la población fue de 0.078 y 0.066 por lo que se pueden establecer conclusiones firmes, más aún por tratarse de una población en estudio de alta heterogeneidad en condiciones de clima, altitud sobre el nivel del mar, latitud y topografía.

Cuadro 4. Matriz de correlaciones entre variables originales del suelo de la región semiárida de cuatro municipios del norte de Durango.

	Limo	Arcilla	CE	SO ₄	NO ₃	P
MO	0.14	0.14	-0.14	-0.13	-0.02	0.13
Limo	1.00	0.29	0.29	0.28	0.42	0.16
Arcilla		1.00	0.16	0.07	0.29	-0.11
CE			1.00	0.79	0.33	-0.01
SO ₄				1.00	0.42	-0.04
NO ₃					1.00	-0.04
P						1.00

Cuadro 5. Matriz de correlaciones entre variables originales del suelo con las de vegetación de la región semiárida de cuatro municipios del norte de Durango.

	Proteína	Ca	P	Cobertura
MO	0.09	-0.21	-0.02	0.07
Limo	0.36	0.13	-0.11	-0.21
Arcilla	0.20	0.36	-0.16	-0.10
CE	0.17	0.17	0.06	0.04
SO ₄	0.28	-0.05	-0.07	-0.09
NO ₃	0.28	0.11	-0.36	-0.38
P	0.008	-0.14	0.28	0.28

En virtud de que las variables no tienen las mismas unidades de medición, en los Cuadros 6, 7, 8 y 9 se reportan los coeficientes de las variables estandarizados para ser interpretados.

En el grupo de variables de la vegetación sobresale la participación positiva de la proteína cruda (0.408) y la participación negativa del P (-0.762) y (-0.371).

Sobresale la participación del Ca en ambas correlaciones canónicas, pero el P es importante por que se manifiesta como la única variable supresora en la segunda correlación canónica puesto que su coeficiente (.181) y su correlación canónica (-.598) tienen signos opuestos (Cuadros 6 y 7).

En la primera correlación canónica en el grupo de variables del suelo (Cuadro 6), sobresalen con relación positiva: SO₄ (1.09), nitratos (0.391) y MO (0.357) y con relación negativa: CE (-1.12) y arcilla (-0.319).

En la segunda correlación canónica se nota una participación balanceada entre casi todas las variables,

Cuadro 6. Análisis de correlación canónica de las variables de suelo y gramíneas de la región semiárida de cuatro municipios del norte de Durango.

Variable canónica	1	2
Eigenvalor	0.553	0.445
Correlación	0.5968	0.555
Pr > F	0.078	0.06
Variables de vegetación		
Proteína	0.0408	0.167
Ca	-0.762	0.671
P	-0.371	0.181
Cobertura	-0.283	-0.727
Variables de suelo		
Materia orgánica	0.357	-0.410
Limo	0.19	0.436
Arcilla	-0.319	0.356
Conductividad eléctrica	-1.122	0.135
SO ₄	1.09	-0.378
NO ₃	0.391	0.405
P	-0.193	-0.427

Cuadro 7. Correlaciones entre las variables de la vegetación y de suelo con sus variables canónicas.

Vegetación	W1
Proteína	0.437
Ca	-0.595
P	-0.542
Cobertura	-0.584
Suelo	V1
Materia orgánica	0.311
Limo	0.254
Arcilla	-0.178
Conductividad eléctrica.	-0.17
SO ₄	0.355
NO ₃	0.459
P	-0.125

identificando, como variable supresora, por lo opuesto de sus signos, tan solo a los sulfatos.

Considerando un mayor interés en conocer la relación existente entre el contenido de proteína cruda y la cobertura de las gramíneas con las variables físicas y químicas del suelo, de acuerdo con este estudio (Cuadro 6), de las 15 variables del suelo medidas, sólo siete fueron las que mostraron relación, negativa o positiva importante.

El contenido de proteína cruda en las gramíneas mostró asociación positiva con el contenido de SO₄, NO₃ y MO lo que sugiere que valores altos de esas variables en los suelos proporcionaron valores altos de dicho nutrimento en los zacates. Igualmente, la cobertura basal se asoció negativamente en la conductividad eléctrica y al contenido de arcilla lo que indica que suelos con altos contenidos de esas variables pueden tener altas coberturas basales.

Los coeficientes de las variables de vegetación de la primera variable canónica denotaron contraste entre el contenido de proteína y las demás variables. Esto significa que valores altos de dicha combinación estarán asociados con valores elevados de proteína, por el contrario, esta combinación lineal tomará valores bajos cuando el calcio y el P foliar sean altos.

La combinación lineal de las variables de suelo en la misma variable canónica se observa con un coeficiente alto y positivo en la variable contenido de sulfatos y un coeficiente alto y negativo en la conductividad eléctrica.

La interrelación (correlación canónica) de estas dos combinaciones plantea una asociación de valores altos de proteína con valores altos de sulfatos en el suelo. Por el contrario, valores altos del CE se asocian a valores altos de los contenidos de P, Ca y cobertura

Cuadro 8. Varianza estandarizada de las variables del suelo.

	Explicado por sus propias variables canónicas			Explicado por las variables canónicas opuestas	
	Proporción	Proporción acumulada	R ² canónica	Proporción	Proporción acumulada
1	0.0823	0.823	0.3562	0.0293	0.0293
2	0.1956	0.2779	0.3081	0.0603	0.0896
3	0.2138	0.4917	0.1375	0.0294	0.1190
4	0.1169	0.6087	0.1002	0.0117	0.1307

Cuadro 9. Varianza estandarizada de las variables de la vegetación.

	Explicado por sus propias variables canónicas			Explicado por las variables canónicas opuestas	
	Proporción	Proporción acumulada	R ² canónica	Proporción	Proporción acumulada
1	0.2954	0.2954	0.3562	0.1052	0.1052
2	0.4084	0.7038	0.3081	0.1258	0.2311
3	0.2130	0.9168	0.1375	0.0293	0.2603
4	0.0832	1.0000	0.1002	0.0083	0.2687

basal, aunque debe señalarse que los valores de la CE nunca rebasarán los límites de un suelo normal.

Para precisar las relaciones anteriores se correlacionó la variable canónica con las variables originales de vegetación y suelo (Cuadro 7). Con respecto a las variables de vegetación se confirma el contraste antes reportado. En las variables del suelo desaparece el contraste y se resalta la importancia de las sales como los NO₃ y SO₄, así como del contenido de la MO. En todos los casos se observan coeficientes grandes y positivos.

El análisis de redundancia (Cuadros 8 y 9) muestra que los dos primeros pares de variables canónicas son los mejores predictores del grupo de variables opuestas que son los que aportan las mayores cantidades a la proporción de la varianza: 0.0293 y 0.603 dentro de las variables del suelo, 0.1052 y 0.1258 en las variables de la vegetación.

La correlación múltiple del cuadrado puede ser considerada baja (0.3562) participando en ella, dentro de las variables de vegetación el calcio, la cobertura basal y el fósforo (Cuadro 10), en tanto que del grupo de variables del suelo ninguna muestra gran fuerza de

Cuadro 10. Cuadrado de la correlación múltiple entre las variables de vegetación y las primeras "M" variables canónicas de las variables de suelo.

M	1	2	3	4
Proteína	0.068	0.118	0.202	0.205
Ca	0.126	0.310	0.313	0.316
P	0.104	0.215	0.225	0.252
Cobertura	0.121	0.279	0.299	0.299

predicción aunque los valores son un poco mayores para el NO₃ y SO₄ (Cuadro 11).

En el modelo de correlación canónica obtenido se resalta la presencia de la materia orgánica, pues se sabe que al entrar en el proceso de descomposición, pone los nutrimentos disponibles para que sean tomados por la planta mejorando la eficiencia de los ciclos minerales, además, entre mayor sea el contenido de materia orgánica en el suelo (2.01 en promedio en este estudio) más eficiente será el uso del agua.

Dentro de la textura del suelo, en el modelo obtenido resultan muy importantes el limo y la arcilla. Esta variable es la que le da la capacidad de intercambio catiónico a los suelos, lo que significa alta resistencia a cambios de pH y cationes, o sea, alta capacidad amortiguadora (Donahue *et al.*, 1981).

La importancia manifestada en este modelo por el contenido de fósforo en el suelo se puede deber a que es el elemento más crítico en el suelo (Donahue *et al.*, 1981).

Cuadro 11. Cuadrado de la correlación múltiple entre las variables de suelo y las primeras "M" variables canónicas de las variables de vegetación.

M	1	2	3	4
Materia orgánica	0.034	0.069	0.088	0.107
Limo	0.023	0.104	0.142	0.167
Arcilla	0.011	0.117	0.155	0.180
Conductividad eléctrica	0.010	0.026	0.067	0.069
SO ₄	0.045	0.049	0.089	0.091
NO ₃	0.075	0.190	0.193	0.195
P	0.005	0.069	0.964	0.103

En el modelo encontrado se confirmó la hipótesis planteada, puesto que tanto la materia orgánica como el fósforo y los nitratos se presentaron dentro del grupo de variables del suelo que se asocian a las variables químicas de las gramíneas, concordando con lo expuesto por Serrato *et al.* (1983), quienes, al documentar la morfología y fisiología de los zacates de las zonas semiáridas, señalan que esas plantas se comportan bajo los mismos principios fisiológicos de las especies cultivadas. Particularmente, la materia orgánica confirmó la expectativa de su participación en el modelo de correlación canónica, ya que esa variable siempre apareció en modelos obtenidos para los bosques de pino-encino del estado de Durango cuando se analizaron en distintas exposiciones (SEDESOL-UACH, 1992).

Es llamativo el hecho de que en este modelo no participó el pH puesto que esa variable se reportó en los modelos de la SEDESOL-UACH (1992) y también en distintos modelos obtenidos por Serrato (1994) para los bosques de pino-encino de Durango cuando se estratificaron en dos tipos de vegetación y tres clases de condición. Igualmente, la presencia de pH fue reportada por Valencia (1995) al investigar la relación existente en variables relativas a la vegetación arbórea y al suelo en distintas exposiciones de los bosques de pino-encino de Chihuahua. Sin embargo, si se tuvo la presencia de la conductividad eléctrica, lo cual, según Chavira y Castellanos (1987), sirve como un índice de la salinidad promedio del perfil del suelo, lo cual respalda la presencia de NO_3 y SO_4 en el modelo de correlación canónica obtenido en este estudio.

CONCLUSIONES

De 15 variables del suelo analizadas, sólo siete fueron las que mostraron asociación importante con las variables de la vegetación.

Las variables del suelo que mostraron mayor asociación con las variables químicas de las gramíneas fueron, en orden de importancia: conductividad eléctrica, sulfatos, nitratos, materia orgánica, arcilla, fósforo y limo, con lo cual quedó comprobada la hipótesis planteada.

El análisis del comportamiento de grupos de variables en sistemas áridos y semiáridos no se encontró reportado en la literatura científica.

LITERATURA CITADA

- Alpert, M. y R.A. Peterson. 1972. On the interpretation of canonical analysis. *J. of Marketing Res.* 9: 187.
- COTECOCA. 1979. Coeficientes de agostadero de la República Mexicana. Estado de Durango. Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos-COTECOCA. México.
- Chavira, J.G. y J.Z. Castellanos. 1987. Sales solubles. pp. 109-124. *In:* A. Aguilar, J.D. Etchevers y J.Z. Castellanos (eds). Análisis químico para evaluar la fertilidad del suelo. Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo. Publicación Especial No. 1.
- Digby, P.G.N. y R.A. Kempton. 1987. *Multivariate analysis of ecological communities.* Chapman and Hall. New York.
- Donahue, R.L., R.W. Millar y J.C. Shickluna. 1981. *Introducción a los suelos y al crecimiento de las plantas.* Prentice Hall. Madrid, España.
- Draper, N.A. y H. Smith. 1976. *Applied regression analysis.* John Wiley & Son Inc.
- Fierro, L.C. (Ed.). 1987. Resultados de investigación sobre ecología y manejo de pastizales en el norte de Durango 1978-1987. CIFAED-INIFAP-SARH. Publicación especial Núm. 2.
- Hair Jr., J.F., R.E. Anderson, R.L. Tatham y W.C. Black. 1992. *Multivariate data analysis.* McMillan Pub. Co. New York.
- INEGI. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. 1989. *Cartas temáticas de uso del suelo.* INEGI. Aguascalientes, México.
- INEGI. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. 1991. *Atlas Ejidal del Estado de Durango.* Encuentro Nacional Agropecuario Ejidal, 1988. México.
- Johnson, R.A. y D.W. Wichern. 1982. *Applied multivariate statistical analysis.* Prentice Hall, New Jersey.
- Ochoa, J.G., R.I. González y R. Javalera. 1987. Diagnóstico de la ganadería extensiva en el norte del estado de Durango. pp. 2-22. *In:* Resultados de investigación sobre ecología y manejo de pastizales en el norte de Durango 1978-1987. CIFAED-INIFAP-SARH. Publicación especial Núm. 2.
- Pieper, R.D. *Measurement techniques for herbaceous and shrubby vegetation.* Department of Animal and Range Sciences. New Mexico State University. USA.
- Rzedowski, J. 1983. *Vegetación de México.* Ed. Limusa.
- SAS Institute Inc. 1985. *SAS/STAT. Guide for personal computers.* Version 6 edition. Cary, NC: SAS Institute Inc.
- SEDESOL-UACH. 1992. *Monitoreo de impacto ambiental en áreas bajo aprovechamiento forestal en el Estado de Durango.* Instituto Nacional de Ecología - Universidad Autónoma de Chihuahua.
- Serrato S., R., Medina T.J. y G. Vázquez A.R. 1983. *Respuesta del pastizal mediano abierto a diferentes sistemas de pastoreo.* Monografía Técnico-Científica. Departamento de Recursos Naturales. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Saltillo, Coah.
- Serrato S., R. 1994. *Análisis ecológico de sitios en los bosques de pino-encino del Estado de Durango.* Disertación. Universidad Autónoma de Chihuahua. Chihuahua, Chih.
- Tisdale, S.L. y W.L. Nelson. 1975. *Soil fertility and fertilizer.* McMillan Pub. Co. New York.

Valencia C., M. 1995. Impactos ecológicos de las regiones boscosas de Chihuahua a través de simulación. Disertación.

Facultad de Zootecnia, Universidad Autónoma de Chihuahua, Chihuahua, Chih.

BALANCE HIDRICO EN PLANTACIONES JOVENES DE *EUCALYPTUS GLOBULUS* Y *PINUS RADIATA* EN EL SUR DE CHILE

Water Balance in Young Plantations of *Eucalyptus globulus* and *Pinus radiata* in Southern Chile

Carlos E. Oyarzún¹ y Anton Huber

RESUMEN

Durante el período 1994-1997, se estudiaron las variaciones mensuales y anuales de los componentes del balance hídrico en plantaciones jóvenes de *Eucalyptus globulus* y *Pinus radiata*, establecidas en la Cordillera de la Costa del sur de Chile (39°40' S). Se instalaron colectores para medir la precipitación directa y el escurrimiento fustal. Las reservas de agua del suelo se midieron con una sonda de neutrones y la evapotranspiración se estimó con la ecuación del balance hídrico. Las pérdidas por interceptación (medidas como la diferencia entre la precipitación y la precipitación neta), representaron un promedio anual de 4.4 % en *E. globulus* y 3.8 % en *P. radiata*. Durante los períodos estivales, las reservas de agua del suelo decrecieron paulatinamente durante los tres años de mediciones, debido al rápido crecimiento de las plantaciones. La evapotranspiración anual estimada para los tres años de mediciones correspondió a 610, 471 y 910 mm en la plantación de eucaliptos, y de 639, 431 y 936 mm en la plantación de pinos. Estos valores representaron 32, 23 y 58 % de la precipitación neta en *E. globulus*, y 33, 21 y 58 % en *P. radiata*.

Palabras clave: Humedad del suelo, evapotranspiración, plantaciones forestales.

SUMMARY

During 1994-1997, annual and monthly variations of the water balance were studied in young plantations of *Eucalyptus globulus* and *Pinus radiata*, located at the Cordillera de la Costa in southern Chile (39°40' S). Collectors to measure throughfall and stemflow were installed. Soil water content was measured with neutron probe to a depth of 300 cm, and the evapotranspiration

was calculated with the water balance method. The annual mean interception losses (the difference between precipitation and the net precipitation) averaged 4.4 % for *E. globulus* and 3.8 % for *P. radiata*. In the summer periods, soil water reserves decreased gradually during the three years of measurement, due to the fast growth of the plantations. Annual evapotranspiration for the period of measurements was 610, 471, and 910 mm for eucalyptus plantation, and 639, 431, and 936 mm for pinus plantation. These values corresponded to 32, 23, and 58 % in *E. globulus*, and 33, 21, and 58 % in *P. radiata*, as related to the annual net precipitation.

Index words: Soil water, plantation forests, evapotranspiration.

INTRODUCCION

Las plantaciones de *Pinus radiata* en Chile actualmente alcanzan alrededor de 1 500 000 ha y se extienden entre los paralelos 30° y 41° S, incluyendo zonas con precipitaciones de 500 hasta 2500 mm anuales, mientras que las plantaciones de *Eucalyptus* sp. alcanzan cerca de 350 000 ha (INFOR, 1996), ocupando extensas áreas especialmente en la Cordillera de la Costa del centro-sur. A pesar de esta transformación masiva del uso de la tierra, producto de las actividades de reforestación con especies arbóreas exóticas, se han realizado escasas investigaciones sobre el impacto que representa este cambio de coberturas vegetales sobre el balance hídrico de pequeñas y grandes áreas y/o cuencas hidrográficas.

Estudios realizados en Africa del Sur en plantaciones de *Eucalyptus grandis* (Van Lill *et al.*, 1980), han demostrado una reducción del escurrimiento superficial durante el tercer año después de haber sido plantados los árboles. En Australia, Prebble y Stirk (1988) han documentado un aumento en el almacenamiento de agua del suelo entre 0 y 1 m de profundidad después de realizarse una conversión de *Eucalyptus melanophloia* a praderas, mientras que O'Shaughnessy *et al.* (1979) han mostrado en bosques de *Eucalyptus regnans* correlaciones negativas entre el escurrimiento y la

¹ Instituto de Geociencias, Universidad Austral de Chile, Casilla 567, Valdivia, Chile.
e-mail: coyartzun@uach.cl

Aceptado: Marzo de 1999.

densidad y positivas con la edad del bosque. Swank y Douglas (1974) han indicado reducciones importantes del escurrimiento después de 15 años de una conversión de bosques deciduos a coberturas de pinos. Estas disminuciones han sido atribuidas al incremento del índice de área foliar de los pinos, lo que provocaría una mayor intercepción y evaporación. En estudios realizados en plantaciones de *Pinus radiata* en Kenya (Morris, 1985), se han detectado reducciones importantes en las disponibilidades de agua del suelo solamente después de 30 años de haber sido plantados. Sin embargo, en Africa del Sur se han descrito reducciones importantes de las disponibilidades de agua después de un lapso entre 4 y 12 años de haber sido reemplazada la vegetación nativa por plantaciones de *Pinus radiata*. Mientras que en Nueva Zelanda, Rowe y Pearce (1994) han mostrado una rápida declinación del rendimiento hídrico después de cinco años de haberse plantado una microcuenca con *Pinus radiata*.

Estos antecedentes demuestran que los efectos hidrológicos de la reforestación con especies de crecimiento rápido se pueden manifestar a corto, mediano o largo plazo. Sin embargo, los resultados de trabajos comparativos entre los efectos de plantaciones de *Pinus radiata* y *Eucalyptus* sobre el balance hídrico (Langford y O'Shaughnessy, 1977), no han logrado establecer diferencias claras entre estos tipos de coberturas debido a la influencia de otro tipo de factores como el sustrato geológico y el tipo de suelo.

En Chile, este tipo de investigaciones se han realizado en plantaciones adultas de *Pinus radiata* (Huber *et al.*, 1985; Huber y Oyarzún, 1990; Oyarzún *et al.*, 1985) y en bosque nativo siempreverde (Huber y Oyarzún, 1992). Estos estudios, realizados en la zona sur de Chile (39° S), han demostrado una reducción importante de la humedad del suelo durante la época de primavera-verano en plantaciones adultas de *Pinus radiata* sometidas a distintos manejos (Huber *et al.*, 1985). También se ha indicado que las pérdidas por intercepción en estas plantaciones pueden tener grandes variaciones anuales y constituir cantidades importantes de agua, especialmente en años con escasas precipitaciones (Huber y Oyarzún, 1990). Por otro lado, resultados de cinco años de estudios han demostrado que el consumo de agua por evapotranspiración es mayor en una plantación adulta de *Pinus radiata*, que en un bosque nativo siempreverde y una pradera (Huber, 1991). Actualmente, existen escasos datos acerca de los efectos hidrológicos de plantaciones exóticas establecidas recientemente, por lo que el objetivo de este trabajo es investigar los efectos del desarrollo de dos plantaciones jóvenes de *Eucalyptus globulus* y *Pinus*

radiata, sobre la redistribución de las precipitaciones, variaciones de la humedad del suelo y evapotranspiración en el sur de Chile.

MATERIALES Y METODOS

Area de Estudio

El sitio experimental estuvo situado en el predio Huape Tres Esteros, distante 20 km al norte de la ciudad de Valdivia (Figura 1), donde se seleccionaron una parcela de *Pinus radiata* de 2.65 ha plantada en 1990 y una parcela de *Eucalyptus globulus* de 6.67 ha plantada en 1992. La zona posee un clima templado lluvioso con influencia mediterránea, con una temperatura promedio anual de 12 °C y una precipitación promedio anual de 2 300 mm, siendo febrero el mes más seco con 60 mm y julio el más húmedo con 400 mm.

Los suelos del área corresponden a la serie Correltué (IREN-CORFO y UACH, 1978), que se presentan como cenizas volcánicas situadas sobre depósitos marinos de origen Terciario.

Las características principales de las parcelas se presentan en el Cuadro 1. Los árboles se encontraban ampliamente espaciados y las copas de ellos no se superponían en ninguna de las dos parcelas, lo que se refleja en las coberturas de copas que correspondieron inicialmente a 7.5 % y 5.7 % en *P. radiata* y *E. globulus*, respectivamente. La altura promedio de los árboles en las dos plantaciones fueron en su etapa inicial inferior a 3 m y el diámetro promedio de los troncos inferior a 6 cm (Cuadro 1). En la parcela con *Pinus radiata*, la altura promedio del estrato arbustivo fue de 1.5 m y su cobertura de 10 %, donde *Rubus constrictus* es la que posee mayor

Cuadro 1. Características físicas principales de las plantaciones en estudio (datos de enero de 1995).

	<i>Pinus radiata</i>	<i>Eucalyptus globulus</i>
Edad (años)	4.0	2.0
Altura árboles (m)	2.5	2.8
Cobertura de copas (%)	7.5	5.7
Densidad (arb ha ⁻¹)	1370	970
Diámetro de troncos (cm)	5.3	2.9
Area basal (m ² ha ⁻¹)	3.02	0.64
Altura arbustos (m)	1.5	1.0
Cobertura arbustos (%)	10.0	20.0
Altura hierbas (m)	0.7	0.5
Cobertura hierbas (%)	100.0	90.0

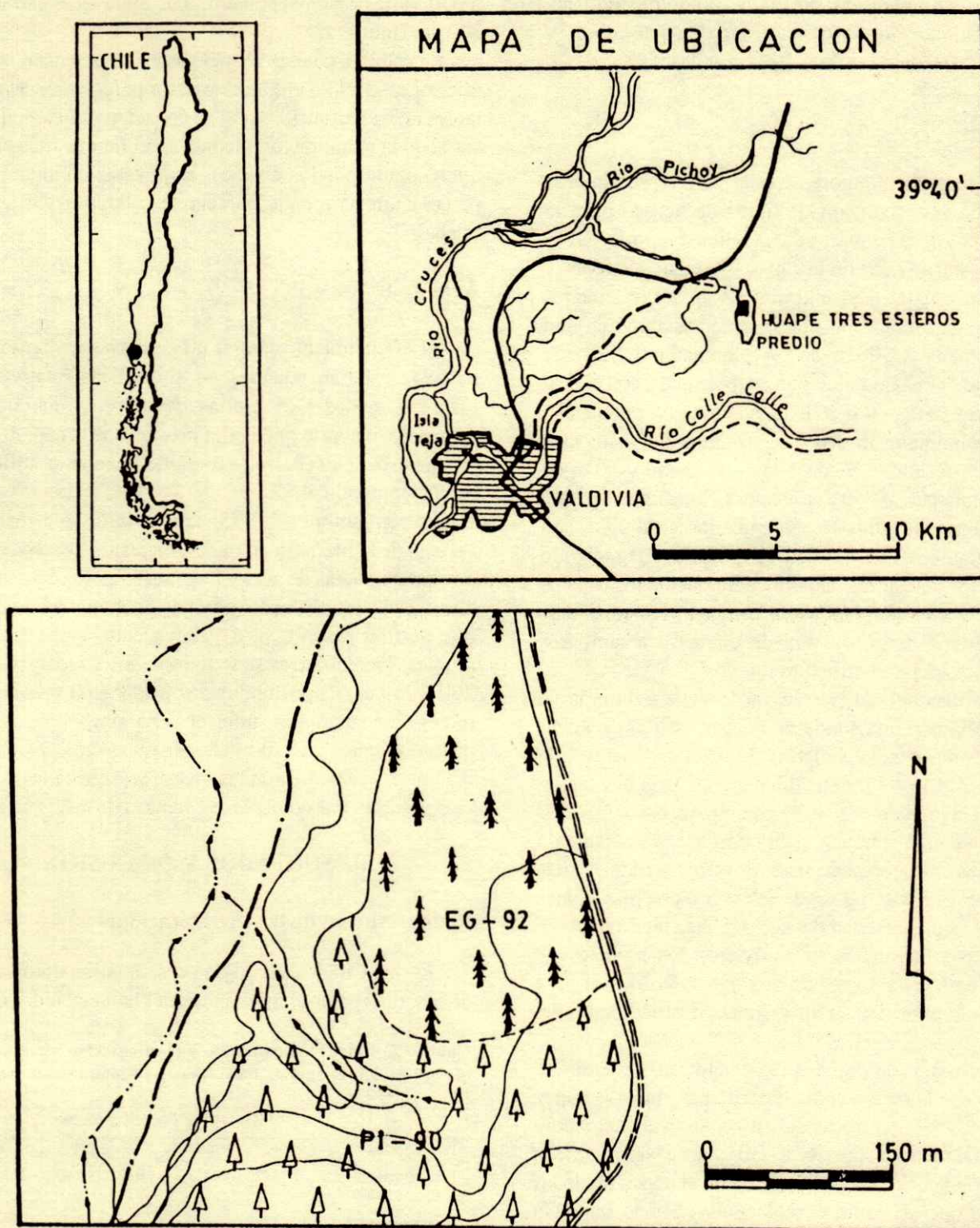


Figura 1. Mapa de ubicación de las plantaciones de *Pinus radiata* (PI-90) y *Eucalyptus globulus* (EG-92).

cobertura. El estrato herbáceo poseía una altura de 0.7 m y una cobertura de 100 %, predominando las especies *Holcus lanatus*, *Leontodon nudicaulis*, *Agrostis castellana*, *Lotus uliginosus* y *Libertia ixoides*. En la

parcela con *Eucalyptus globulus*, el estrato arbustivo tenía una altura promedio de 1 m y una cobertura de 20 %, predominando *Baccharis concava*, *Aristolelia chilensis* y *Rubus constrictus*. El estrato herbáceo poseía una altura

de 0.5 m y una cobertura de 90 %, predominando las especies *Holcus lanatus*, *Agrostis castellana* y *Anthoxanthum odoratum*.

Métodos

El programa de monitoreo comenzó en febrero-marzo de 1994 con la instalación de tubos de acceso para la sonda de neutrones, pluviógrafo, tanque evaporímetro y colectores para medir la precipitación directa y escurrimiento fustal. Las entradas de agua por precipitación se midieron con un pluviógrafo instalado en una pradera, situada a 200 m de las plantaciones. En este mismo sitio, se instaló un tanque evaporímetro con el cual se obtuvieron datos diarios de la evaporación potencial.

La precipitación directa fue recogida por canaletas metálicas en forma de V, de 15 cm de ancho y 30 m de largo, instaladas a 30 cm sobre el suelo y que desembocaban en tambores acumuladores de agua con registro automático. El escurrimiento fustal fue recogido con pequeños colectores de goma adheridos a los troncos de 12 árboles en cada plantación. Esta agua fue conducida por tubos de PVC de 38 mm de diámetro a tambores acumuladores con registro automático.

Las variaciones de la reserva de agua del suelo se determinaron con una sonda de neutrones. Para realizar estas mediciones se instalaron 12 tubos de acero de 300 cm de largo y 45 mm de diámetro en cada plantación y cuatro en la pradera que sirvió como parcela control. Las mediciones con la sonda se realizaron aproximadamente cada 30 días en la época de otoño-invierno y cada 15 días en primavera-verano. La sonda se calibró con mediciones gravimétricas de humedad del suelo realizadas en invierno y verano, con las cuales se obtuvieron los modelos de regresión para cada horizonte, los que se utilizaron para determinar la humedad en las distintas profundidades del suelo.

El consumo de agua por evapotranspiración se determinó con la metodología descrita por Huber y López (1993). Durante las épocas del año cuando el suelo tenía un potencial mátrico superior a -30 kPa, se supuso que la disminución del agua del suelo se debía al consumo de las plantas ya que no había percolación y, por lo tanto, la evapotranspiración real se determinó con la relación:

$$EVT = P_n \pm \Delta W$$

EVT = evapotranspiración (mm)

P_n = precipitación neta (mm)

ΔW = variación en el contenido de agua en el estrato 0 a 300 cm (mm).

En cambio, cuando el suelo tenía un potencial mátrico inferior a -30 kPa entonces existía percolación y, por lo tanto, la evapotranspiración se consideró equivalente a la suma de la evaporación medida en el tanque más el agua interceptada por los árboles. Bajo estas condiciones, la percolación para cada parcela se calculó a partir de la relación:

$$A = P_n - EVT \pm \Delta W$$

El escurrimiento lateral no se consideró, ya que las parcelas estaban situadas en superficies relativamente planas y en las partes altas del terreno. Tampoco se consideró el aporte que podía provenir de la capa freática, ya que ésta se encontraba fuera de la zona de influencia del sistema radical.

En septiembre de 1995, se determinó la distribución vertical de la biomasa de raíces, mediante la extracción de muestras intactas de suelo. Las muestras se obtuvieron en una excavación (calicata) con una profundidad de 3 m, en dos perfiles en el centro y adyacente a una hilera de árboles. Las muestras se tomaron a los 25, 50, 100, 150, 200 y 250 cm de profundidad considerando solamente las raíces con diámetro inferior a 5 mm, siguiendo los procedimientos de Whitehead *et al.* (1994). En el laboratorio se tamizaron las muestras, se secaron a 105°C y se pesaron, para obtener la biomasa de raíces en kg ha^{-1} .

RESULTADOS Y DISCUSION

Redistribución de las Precipitaciones

En los Cuadros 2 y 3 se presentan los datos anuales de los diferentes componentes del balance hídrico en las

Cuadro 2. Balance hídrico en una plantación de *Eucalyptus globulus* (valores en mm, para los periodos anuales mayo-abril).

	1994-1995	1995-1996	1996-1997
Precipitación	1980.9	2127.5	1688.7
Precipitación directa [†]	1922.0 (97.0)	2037.7 (95.8)	1564.6 (92.7)
Escurrecimiento fustal	2.1 (0.1)	7.8 (0.4)	14.0 (0.8)
Precipitación neta	1924.1 (97.6)	2045.1 (96.2)	1578.6 (93.5)
Intercepción	56.8 (2.9)	82.4 (3.8)	110.1 (6.5)
Evapotranspiración	610.0 (31.7)	475.0 (23.2)	910.0 (57.6)
Percolación	1314.1 (68.3)	1570.0 (76.8)	668.6 (42.4)

[†]Entre paréntesis valores porcentuales con respecto a la precipitación.

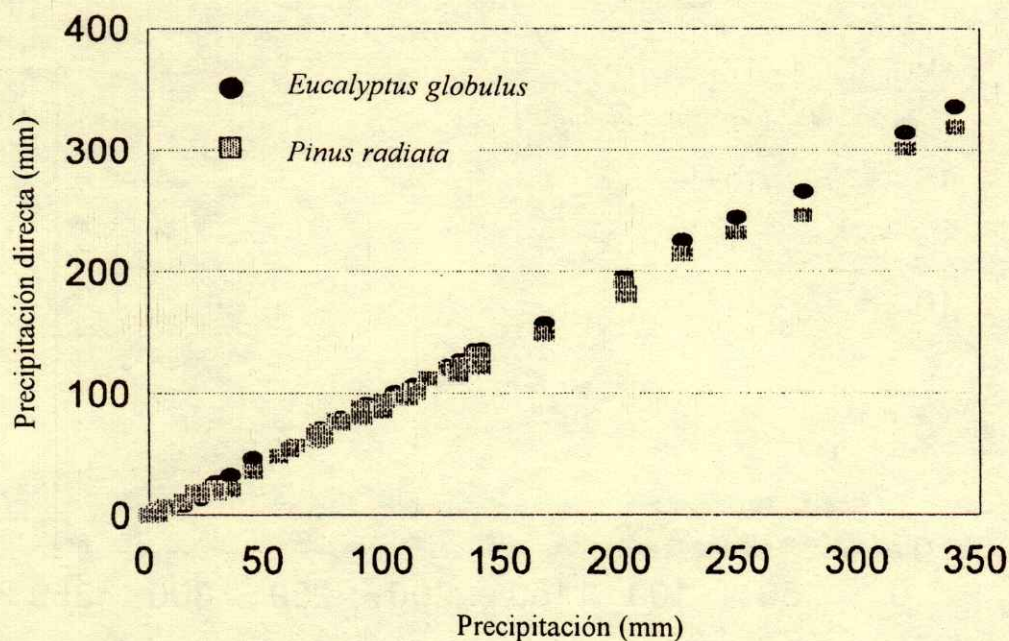


Figura 2. Relaciones entre la precipitación directa y la precipitación para las dos plantaciones en estudio.

plantaciones en estudio. En la plantación de *Eucalyptus globulus*, la precipitación directa representó entre 97.0 % y 92.7 % de la precipitación incidente, mientras que en la plantación de *Pinus radiata* los valores anuales fluctuaron entre 93.4 % y 89.5 %. Los valores de precipitación directa estuvieron altamente correlacionados con los montos de precipitación, tanto para *E. globulus* ($R^2=0.98$) como para *P. radiata* ($R^2=0.98$) (Figura 2). Sin embargo, debido a la irregularidad en la distribución espacial de la precipitación directa producto de la ocurrencia de puntos de goteo y zonas de sombra, en algunos eventos de precipitación, la precipitación directa excedió a la precipitación incidente. Estos casos no se consideraron en el análisis estadístico. Estos valores más altos de precipitación directa pueden ocurrir ocasionalmente cuando los colectores están localizados debajo de puntos de goteo (Neal *et al.*, 1993).

Los montos anuales del escurrimiento fustal mostraron grandes diferencias entre las dos plantaciones (Cuadros 2 y 3). En promedio, el escurrimiento fustal constituyó 4.9 % en *P. radiata* y solamente 0.4 % en *E. globulus*. Esta notable diferencia puede ser atribuida a la verticalidad y convergencia de las ramas al tronco principal, que en *Pinus radiata* ha sido especialmente

destacada en árboles jóvenes (Oyarzún *et al.*, 1985). Esta diferencia se hace especialmente importante cuando se considera el aporte de agua por árbol, ya que en *P. radiata* este aporte representó un promedio anual de 653 L árbol⁻¹, mientras que en *E. globulus* fueron solamente 67 L árbol⁻¹. En promedio, alrededor de 40 mm de lluvia se requirieron para iniciar el escurrimiento fustal en *E. globulus*, mientras que en *P. radiata* el escurrimiento prácticamente se inicia con 1 mm de lluvia (Figura 3).

Las pérdidas por intercepción, estimadas como la diferencia entre la precipitación incidente y la precipitación que llega al suelo (precipitación neta),

Cuadro 3. Balance hídrico en una plantación de *Pinus radiata* (valores en mm, para los períodos anuales mayo-abril).

	1994-1995	1995-1996	1996-1997
Precipitación	1980.9	2127.5	1688.7
Precipitación directa [†]	1850.2 (93.4)	1934.2 (90.9)	1512.2 (89.5)
Escurrecimiento fustal	69.9 (3.5)	115.3 (5.4)	100.1 (5.9)
Precipitación neta	1920.1 (96.9)	2049.5 (96.3)	1612.3 (95.4)
Intercepción	60.8 (3.1)	78.0 (3.7)	76.4 (4.6)
Evapotranspiración	639.0 (33.3)	431.0 (21.0)	936.0 (58.1)
Percolación	1281.1 (66.7)	1618.5 (79.0)	676.3 (41.9)

[†] Entre paréntesis valores porcentuales con respecto a la precipitación.

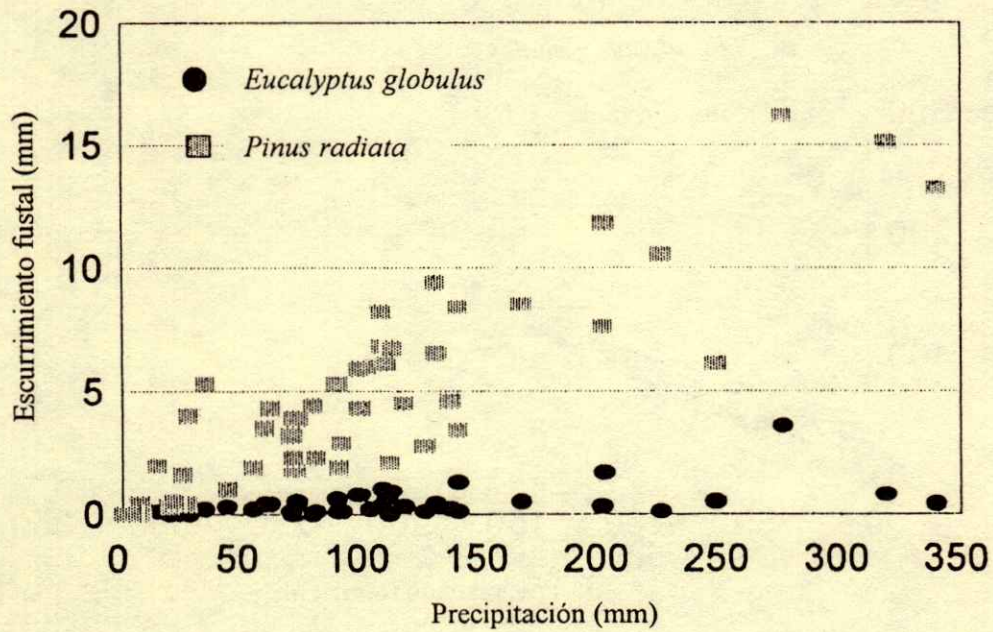


Figura 3. Relaciones entre el escurrimiento fustal y la precipitación para las dos plantaciones en estudio.

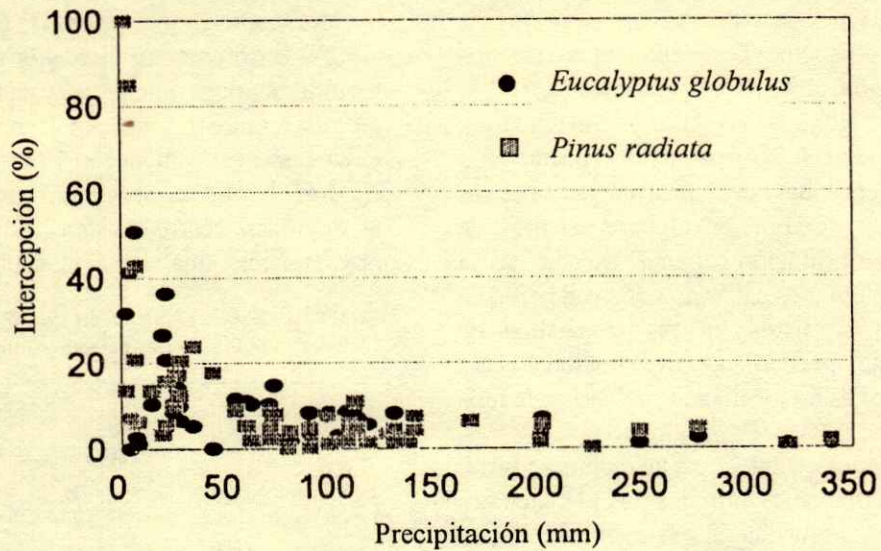


Figura 4. Relaciones entre las pérdidas por intercepción y las precipitaciones.

representaron un promedio anual de 4.4 % en *E. globulus* y 3.8 % en *P. radiata*. Estos valores son inferiores a los reportados por Huber y Oyarzún (1990), para una plantación de *P. radiata* de 30 años de edad y cobertura de copas de 72 % (intercepción=15.3 %), debido a las menores coberturas de la plantación en estudio (Cuadro 1). Durante el período de estudio, los porcentajes de intercepción anual aumentaron paulatinamente en las dos plantaciones, debido al crecimiento de los árboles lo que se tradujo en una mayor superficie de suelo cubierta por la proyección de sus copas.

La Figura 4 muestra la relación entre la intercepción y los montos de precipitación. La relación para ambas plantaciones es exponencial negativa, similar a las encontradas por otros autores para otros bosques (Rapp e Ibrahim, 1978; Calheiros de Miranda y Butler, 1986; Huber y Oyarzún, 1992). En general, cuando la precipitación es inferior a 25 mm, entonces los montos de intercepción tienden a ser superiores a 10 % en ambas plantaciones, llegando a ser cercanos a 100 % cuando las lluvias son inferiores a 5 mm. Este porcentaje tiende a estabilizarse en valores inferiores a 10 %, cuando la precipitación supera 100 mm.

Humedad del Suelo y Evapotranspiración

En la Figura 5 se presentan las variaciones mensuales de las precipitaciones, montos de evapotranspiración y las reservas de agua del suelo hasta 3 m de profundidad, en las dos plantaciones. Durante el período 1994-1995, las reservas de agua del suelo decrecieron alrededor de 100 mm en las dos plantaciones durante febrero, y se recuperaron totalmente en mayo. En el período 1995-1996, las reservas empezaron a decrecer en octubre alcanzando su valor mínimo en marzo y recuperándose totalmente en junio. En el período 1996-1997, las reservas decrecieron levemente en septiembre-octubre, luego se recuperaron parcialmente en diciembre, y finalmente decrecieron fuertemente en las dos plantaciones durante el mes de marzo (~200 mm), para recuperarse totalmente durante abril.

El comportamiento anual de las reservas de agua del suelo puede ser atribuido al rápido desarrollo de las plantaciones y, por lo tanto, a un patrón creciente de consumo ejercido por sus sistemas radicales que cada vez alcanzaron mayor profundidad. Durante el primer año de mediciones (1994-1995), el decrecimiento de las reservas de agua se verificó principalmente en los primeros 125 cm de profundidad, debido a la escasa profundidad del sistema radical. La biomasa de raíces finas se concentra

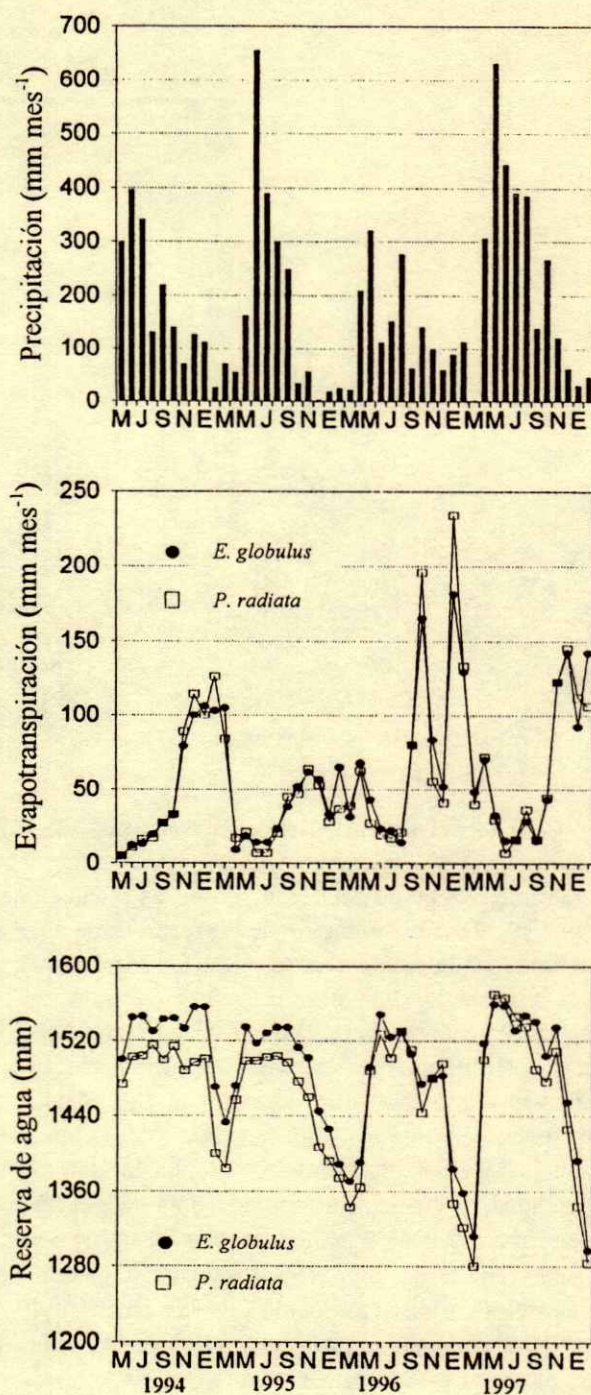


Figura 5. Variaciones mensuales de las precipitaciones, evapotranspiración y reservas de agua del suelo para las dos plantaciones en estudio.

fuertemente entre 0 y 25 cm de profundidad y luego disminuye fuertemente hacia 125 cm de profundidad (Figura 6), no encontrándose raíces a mayores profundidades en las dos plantaciones. Es necesario considerar

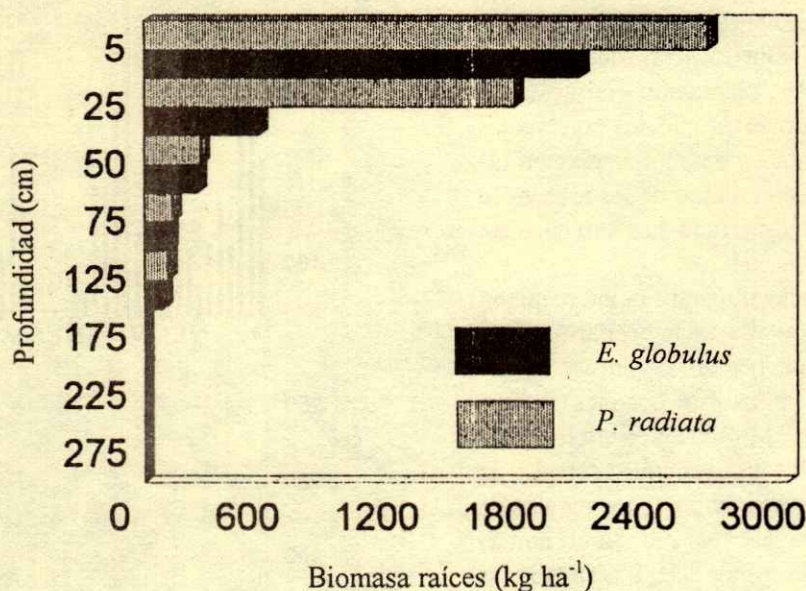


Figura 6. Distribución de la biomasa de raíces finas en el perfil del suelo para las dos plantaciones en estudio.

que durante esta etapa del desarrollo de las plantaciones, probablemente la disminución de las reservas de agua se deba fundamentalmente a las especies del sotobosque, ya que la observación visual de las raíces presentes en las muestras de suelo revelaron la presencia principalmente de raíces correspondientes a las especies herbáceas y arbustivas del sotobosque. Durante el último año de mediciones (1996-1997), el decrecimiento de la humedad del suelo alcanzó aproximadamente hasta 200 cm de profundidad, probablemente debido a un mayor alcance de los sistemas radicales de los árboles. También se ha señalado (Huber y López, 1993), que el establecimiento de especies arbustivas como *Rubus constrictus* y *Aristotelia chilensis* contribuye a que la desecación del suelo alcance profundidades mayores.

Los valores mensuales máximos de evapotranspiración durante los tres años de mediciones, ocurrieron durante el mes de enero de 1997 y fueron de 234 mm en *P. radiata* y 181 mm en *E. globulus* (Figura 5). Durante los meses de verano del período 1995-1996, la evapotranspiración en las dos plantaciones fue relativamente pequeña, lo que se puede atribuir a las escasas precipitaciones de los meses de octubre,

noviembre, diciembre, enero, febrero y marzo, con montos inferiores a 50 mm mes⁻¹.

La evapotranspiración anual estimada para los tres años de mediciones correspondió a 610, 475 y 910 mm en la plantación de eucaliptos, y de 639, 431 y 936 mm en la plantación de pinos (Cuadros 2 y 3). Si estos montos se relacionan con la precipitación incidente, ellos representaron 32, 23 y 58 % en *E. globulus*, y 33, 21 y 58 % en *P. radiata*. Estos porcentajes de evapotranspiración fueron menores que los encontrados en plantaciones de *Pinus radiata* de 26 años de edad, ya que aquellas representaron 62 % de la precipitación. Durante el tercer año fueron semejantes a los de una plantación de nueve años que constituyó 58 % (Huber *et al.*, 1985). Sin embargo, los valores de los dos primeros años fueron semejantes a los de una pradera natural, ya que ella consumió el equivalente de 30 % de la precipitación.

CONCLUSIONES

Durante los tres primeros años después de la reforestación con *Pinus radiata* y *Eucalyptus globulus*, las pérdidas por interceptación constituyeron cantidades

entre 3 y 7 % de la precipitación incidente, debido a la escasa cobertura de las copas, por lo que la precipitación neta representó cantidades aproximadas de 97 a 93 % de la precipitación total. Los aportes de agua mediante el escurrimiento fustal fueron especialmente importantes en *P. radiata* debido a la verticalidad y convergencia de las ramas al tronco principal, mientras que en *E. globulus* estos aportes fueron mínimos.

El rápido crecimiento de los árboles de *Pinus radiata* y *Eucalyptus globulus* contribuyó a un decrecimiento paulatino de las reservas de agua del suelo, especialmente durante los períodos estivales. En el primer año después de establecidas las plantaciones (1994-1995), esta disminución de la humedad del suelo se verificó aproximadamente hasta los 125 cm de profundidad, lo que sugiere que fue importante la contribución de las raíces de las especies del sotobosque. En el tercer año de mediciones (1996-1997), el decrecimiento de las reservas alcanzó aproximadamente hasta 200 cm de profundidad, debido al rápido crecimiento de los árboles en ambas plantaciones.

El consumo estimado de agua por evapotranspiración, alcanzó valores cercanos a 30 % de la precipitación durante el primer año de mediciones, aumentado hasta valores de 58 % en el tercer período de mediciones en ambas plantaciones. Este comportamiento en el consumo de agua de las plantaciones sugiere de que en el largo plazo el decrecimiento en las reservas de agua del suelo puede tener efectos negativos sobre el rendimiento hídrico de las cuencas hidrográficas con extensivas plantaciones exóticas de crecimiento rápido. Esta situación tendrá especial relevancia en aquellas regiones con escasas y/o moderadas precipitaciones, ya que además del consumo por evapotranspiración hay que considerar las pérdidas por intercepción, especialmente importantes en zonas con escasas precipitaciones. La tendencia del consumo de agua por las plantaciones durante los tres primeros años, sugieren de que probablemente el efecto sobre las reservas de agua del suelo sea similar en las dos plantaciones.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo fue financiado por los proyectos S-94-02 y PEF-97-01 de la Dirección de Investigación y Desarrollo, Universidad Austral de Chile. También se agradece el apoyo prestado por el Centro Forestal de la Universidad Austral de Chile, especialmente en los trabajos de terreno.

LITERATURA CITADA

- Calheiros de Miranda, R.A. y D.R. Butler. 1986. Interception of rainfall in a hedgerow apple orchard. *J. Hydrology* 87: 245-253.
- Huber, A. 1991. Modificación del balance hídrico por cambios en la cubierta vegetal. Resúmenes II Congreso Gestión en Recursos Naturales. Valdivia, Chile. pp. 43.
- Huber, A. y D. López. 1993. Cambios en el balance hídrico provocado por tala rasa de un rodal adulto de *Pinus radiata*, Valdivia, Chile. *Bosque* 14: 11-18.
- Huber, A. y C. Oyarzún. 1990. Variaciones anuales en precipitación, escurrimiento e intercepción en un bosque adulto de *Pinus radiata*. *Turrialba* 40: 503-508.
- Huber, A. y C. Oyarzún. 1992. Redistribución de las precipitaciones en un bosque siempreverde del sur de Chile. *Turrialba* 42: 192-199.
- Huber, A., C. Oyarzún y A. Ellies. 1985. Balance hídrico en tres plantaciones de *Pinus radiata* y una pradera. II: Humedad del suelo y evapotranspiración. *Bosque* 6: 74-82.
- INFOR. 1996. Plantaciones forestales 1995. Instituto Forestal. Santiago, Chile.
- IREN-CORFO y UACH. 1978. Estudio de suelos de la provincia de Valdivia. Instituto Nacional de Investigación de Recursos Naturales, Corporación de Fomento de la Producción, Universidad Austral de Chile. Santiago, Chile.
- Langford, K.J. y P.J. O'Shaughnessy. 1977. Some effects of forest change on water values. *Australian Forestry* 40: 192-218.
- Morris, A. 1985. Forestry and land-use conflicts in Cuenca, Ecuador. *Mountain Res. and Development* 5: 183-196.
- Neal, C., A.J. Robson, C.L. Bhardwaj, T. Conway, H.A. Jeffery, M. Neal, G.P. Ryland, C.J. Smith y J. Walls. 1993. Relationships between precipitation, stemflow and throughfall for a lowland beech plantation, Black Wood, Hampshire, southern England: findings on interception at a forest edge and the effects of storm damage. *J. Hydrology* 146: 221-233.
- O'Shaughnessy, P.J., K.J. Langford, H.P. Duncan y R.J. Moran. 1979. Catchments experiments in mountain ash forests at North Maroondah. *Australian Forestry* 42: 150-160.
- Oyarzún, C., A. Huber y S. Vasquez. 1985. Balance hídrico en tres plantaciones de *Pinus radiata*. I: Redistribución de las precipitaciones. *Bosque* 6: 1-12.
- Prebble, R.E. y G.B. Stirk. 1988. Hydrological effects of land use change on small catchments at the Narayan research station, Queensland. *Australian J. Soil Research* 26: 231-242.
- Rapp, M. y M. Ibrahim. 1978. Egottement, écoulement et interception des précipitations par un peuplement de *Pinus pinea* L. *Ecologia Plantarum* 13: 321-330.
- Rowe, L.K. y A.J. Pearce. 1994. Hydrology and related changes after harvesting native forest catchments and establishing *Pinus radiata* plantations. Part 2. The native forest water balance and changes in streamflow after harvesting. *Hydrological Processes* 8: 281-297.
- Swank, W.T. y J.E. Douglass. 1974. Streamflow greatly reduced by converting deciduous hardwood stands to pine. *Science* 185: 857-859.

Van Lill, W.S., F.J. Kruger y D.B. Van Wyk. 1980. The effect of afforestation with *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden and *Pinus patula* Schlecht. et Cham. on streamflow from experimental catchments at Mokobulaan, Transvaal. *J. Hydrology* 48: 107-118.

Whitehead, D., F.M. Kelliher, P.M. Lane y D.S. Pollock. 1994. Seasonal partitioning of evaporation between trees and understorey in a widely spaced *Pinus radiata* stand. *J. Applied Ecology* 31: 528-542.

FACTORES QUE REGULAN LA EROSION HIDRICA EN LA CUENCA DEL RIO SANTA MARIA, PROVINCIA DE CATAMARCA, ARGENTINA

Regulatory Factors of Water Erosion in Santa María River Basin, Catamarca Province, Argentine

Rienzi, Eduardo Abel¹, Maggi, Alejandro Esteban¹, Navone, Stella Maris¹, Movia, Clara Pía²

RESUMEN

Se evaluó la erosión hídrica potencial en un sector de la cuenca del río Santa María en la provincia de Catamarca, en el noreste de la República Argentina, aplicando la Ecuación Universal de Pérdidas de Suelo (EUPS) con el objeto de identificar las áreas en donde fuera posible atenuar los procesos erosivos con prácticas sencillas de manejo de suelos y determinar las limitaciones que pueden presentarse en la aplicación de la ecuación en estas zonas áridas. Para ello se tomaron muestras al azar de suelos de siete diferentes unidades cartográficas del mapa de suelos en escala 1:100 000, se determinaron en ellas la textura, estructura y el contenido de materia orgánica; se evaluaron además en cada una de ellas la cobertura de la vegetación, el estado del proceso erosivo actual y la relación surcos/entresurcos. El uso combinado de la información de la cartografía de suelos con los resultados de las ecuaciones de predicción de procesos dinámicos permitió la selección de tres áreas susceptibles de restaurar con prácticas de manejo sencillas que sólo significan aumentar el grado actual de cobertura, o mejorar el estado de la vegetación natural, así como también detectar las unidades en las cuales tales prácticas no tendrían ningún resultado. Se observó además que la utilización de algunos elementos locales para la definición del factor de erodabilidad (K) en la ecuación EUPS mejorarían la predicción de los procesos erosivos en algunas unidades cartográficas. La complejidad de los aspectos relacionados con el factor de erodabilidad de los suelos, unido a la falta de información básica de las interrelaciones que podrían presentarse con los procesos erosivos, no consideradas en la ecuación, obliga a extremar los cuidados para su aplicación en las cuencas de zonas áridas.

¹ Cátedra de Manejo y Conservación de Suelos. ² Laboratorio de Fotointerpretación, Facultad de Agronomía UBA Av. San Martín 4453 (1417) Buenos Aires, Argentina.

Aceptado: Noviembre de 1998.

Palabras clave: Erosión hídrica, EUPS, cuencas, zonas áridas.

SUMMARY

Water erosion in selected areas of the Santa Maria River basin was evaluated by means of the Universal Soil Loss Equation to identify sectors, feasible to restore by means of simple management practices. Limitations in applying the USLE equation in this region were determined as well. Random soil samples were taken at seven cartographic units from the soil map, scale 1:100 000. Determinations of soil texture, structure, and soil organic carbon were carried out. Vegetative cover and actual erosive processes evidence were registered and evaluated in the field. It was observed that by combining the information of soil cartography with the results of prediction equation, three cartographic units were identified feasible to restore with simple management practices. It was determined that the use of some local elements in order to define the erodability factor in the USLE equation would improve the prediction of the erosive processes in some cartographic units. The complexity of the aspects related with the K factor and the lack of basic information of the relationships which could occur with erosion processes, not considered in the equation, increase the need to exercise extreme caution when applying it in basins of arid zones.

Index words: Water erosion, USLE, watershed, arid zones.

INTRODUCCION

La selección de áreas con distinto riesgo de erosión es uno de los primeros pasos en la restauración de cuencas degradadas por el uso antrópico, especialmente cuando se consideran los altos costos involucrados en la conservación y restauración, la ausencia de datos confiables, la complejidad de las unidades cartográficas involucradas y las dificultades

técnicas que ofrece su resolución (Bryan y Schnabel, 1994). La ecuación universal de pérdida de suelos EUPS (Wischmeier y Smith, 1978), debido a su facilidad de aplicación, es una de las más utilizadas en la elaboración de mapas temáticos (Aguirre y Martínez, 1994; Gad *et al.*, 1994).

Sin embargo, la ampliación del ámbito de aplicación de la ecuación puede exceder los límites de confiabilidad de sus parámetros provocando una baja eficiencia de predicción que puede deberse tanto a las características intrínsecas del modelo como a errores de apreciación del operador (González del Tánago, 1991).

El objetivo de este trabajo consistió en: a) evaluar la erosión hídrica potencial en distintas situaciones de la cuenca del río Santa María, aplicando la ecuación universal de pérdidas de suelos; b) identificar los sectores en donde es posible atenuar los procesos erosivos con prácticas sencillas de manejo de suelos que permitan aumentar el grado actual de cobertura; y c) determinar las limitaciones que pueden presentarse en la aplicación de la ecuación universal en estas áreas.

MATERIALES Y METODOS

Se evaluó la erosión hídrica potencial de siete unidades cartográficas del sector de la cuenca del río Santa María del cual se cuenta con el levantamiento de suelos como se observa en la Figura 1, en escala 1:100 000 de acuerdo con la clasificación de Soil Taxonomy (1975). El clima es árido, con una precipitación media anual de 190 mm que se concentra entre los meses de diciembre a marzo. En los sitios representativos de las unidades mencionadas se tomaron muestras al azar de los horizontes superficiales y se determinaron textura (Bouyoucos) estructura, carbono orgánico (Walkley y Black) y cobertura vegetal (Braun Blanquet, 1950).

Las características de los suelos y de vegetación, y las pérdidas por erosión determinadas en cada unidad fueron utilizadas para determinar los distintos parámetros correspondientes a la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (EUPS) (Wischmeier y Smith, 1978). Se emplearon tres valores de erosividad (R) posibles, de acuerdo con los datos climáticos y la correlación de Yu y Rosewell (1996), evaluándose posteriormente su posibilidad de ocurrencia; se simuló

además una situación de ausencia de cobertura, para evaluar la respuesta ante un cambio drástico en las condiciones actuales que aporten elementos de juicio para adoptar prácticas sencillas de control de la erosión hídrica.

RESULTADOS Y DISCUSION

La Figura 2 muestra la relación entre las pérdidas potenciales de erosión hídrica en las distintas situaciones evaluadas para las dos condiciones de cobertura analizadas (condición actual y ausencia absoluta de cobertura), en función de uno de los niveles de R empleados que tiene la mayor probabilidad de ocurrencia. Se observa que dos de las situaciones presentan un aumento significativo de las pérdidas cuando se elimina la cobertura (Unidades Cartográficas 3 y 5); del resto, dos situaciones representan casos intermedios (UC 4 y 6) mientras que las situaciones 1, 2 y 7 evidencian pérdidas por erosión bajas a moderadas con la condición de cobertura actual que puede ser mejorada por medio de prácticas sencillas de uso del rastrojo de cosecha o restaurando el estado de la vegetación natural.

En cambio, el grado de erosión que se encuentra en las Unidades 3 y 5, aún con los valores más bajos de R sugiere la imposibilidad de atenuar los efectos de este proceso mediante el empleo de prácticas de manejo comunes que conduzcan a mejorar el grado de cobertura, debido a que ésta debería ser de gran envergadura, por ende, muy difícil de implementar debido a la condición climática adversa.

En la Figura 3 se observa que estas dos unidades cartográficas, presentan valores grandes del factor LS, lo cual puede explicar el escaso efecto de la cobertura en la reducción de los procesos erosivos; sin embargo, es reconocido que la relación entre la pendiente y los procesos de erosión es de naturaleza compleja (Poessen y Bryan, 1990), lo cual se advierte en la Figura 4 que sugiere la presencia de otras interacciones entre los factores responsables de la erosión en estas unidades cartográficas.

Contrario a lo esperado, se observa que las pérdidas por erosión no aumentan con el incremento en la erodabilidad (factor K). Las situaciones 3 y 5 que aparecen muy condicionadas por el factor LS no presentan el mismo comportamiento cuando se analiza

Mapa de Suelos

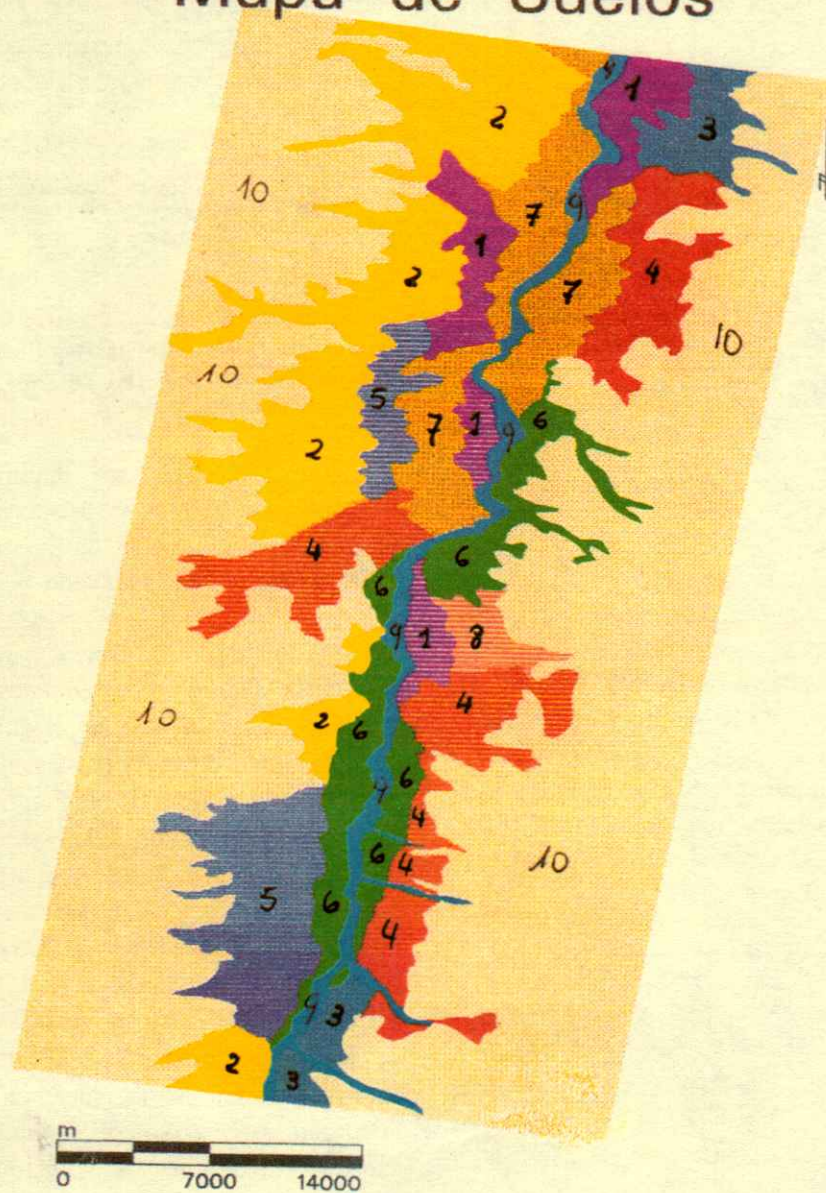


Figura 1. A) Ubicación general de la provincia de Catamarca en la Argentina; B) ubicación de la cuenca en la provincia de Catamarca; C) cuenca del río Santa María en estudio y mapa de suelos del sector analizado.

Leyenda de las unidades cartográficas del mapa de suelos:

- (1) 60 % Torrfluvents típico + 40 % Cambortid típico; (2) 50 % Torriortent lítico + 50 % Torriortent lítico en fase por pendiente; (3) Torriortent lítico; (4) 70 % Torriortent ústico + 30 % Torriortent típico; (5) Torriortent típico en fase por pendiente; (6) Cambortid típico; (7) 70 % Haplaquept ácuico + 30 % Salortid típico; (8) 65 % Salortid típico + 35 % Torripsament ústico; (9) Río Santa María; (10) Montañas.

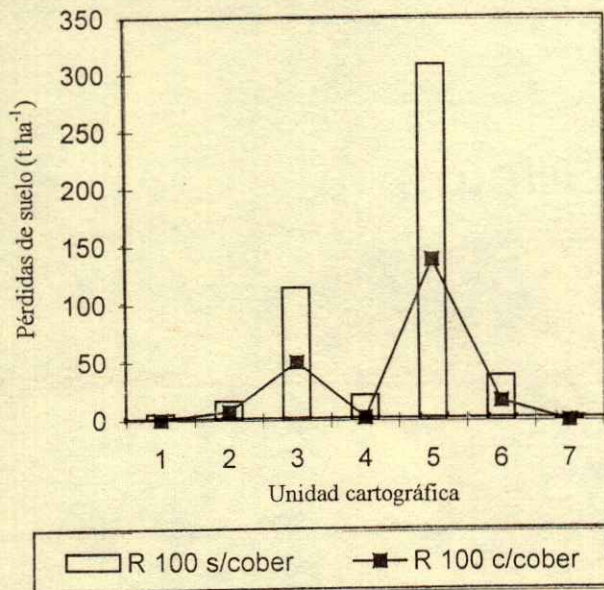


Figura 2. Cambios en las pérdidas de suelo en cada unidad cartográfica, de acuerdo con dos situaciones posibles, con cobertura actual y sin cobertura.

su capacidad intrínseca para erosionarse; la Unidad 5 tiene ambos condicionantes que explican los valores de pérdida de suelo hallados, confirmados con las evidencias encontradas en el terreno, pero la Unidad 3 presenta un valor intermedio de K que no corresponde con las evidencias de erosión.

La composición del factor de erodabilidad (K) ha sido cuestionada en distintos trabajos y se ha identificado como una gran fuente potencial de error (Risse *et al.*, 1993). En la versión revisada de la

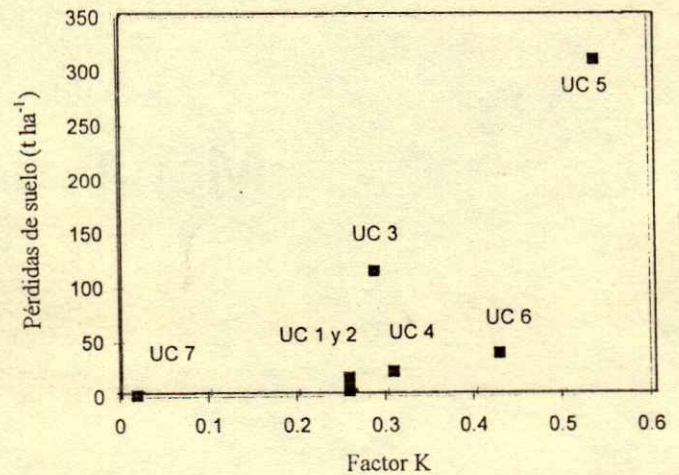


Figura 4. Relación entre las pérdidas de suelo y el factor erodabilidad del suelo (K) en cada una de las unidades cartográficas evaluadas.

ecuación (RUSLE) se modificó el factor de erodabilidad aceptándose que el contenido de humedad del suelo y el estado de la superficie deben ser incluidos en su determinación (González del Tánago, 1991).

Sin embargo, el primer aspecto a corregir no produciría ningún efecto en nuestro caso, ya que la modificación propuesta se efectúa en función de la erosividad de las lluvias (R) y dado su carácter, dentro del área en estudio todos los valores de K cambiarían en el mismo sentido. De esta forma, el aspecto condicionante de la erodabilidad que debe tomarse en cuenta debería ser de naturaleza local. Esto también fue sugerido por Gachene (1995) quien debió utilizar datos locales en condición de lluvia simulada para definir un factor K más ajustado.

Dentro de los aspectos locales, debería prestarse atención a las variaciones en vegetación y los microclimas como modificadores de la infiltración (Sorrijo-Valvo *et al.*, 1995), pero en nuestras unidades cartográficas no se ha observado la presencia de raíces o estructura de la vegetación arbustiva que represente un mecanismo amortiguador de la erosión; sin embargo, el aspecto referido al microclima si se incluye el almacenamiento del agua en el suelo podría ser de gran importancia.

Römken *et al.* (1986) incluyeron la presencia de pedregosidad en superficie como elemento protector del

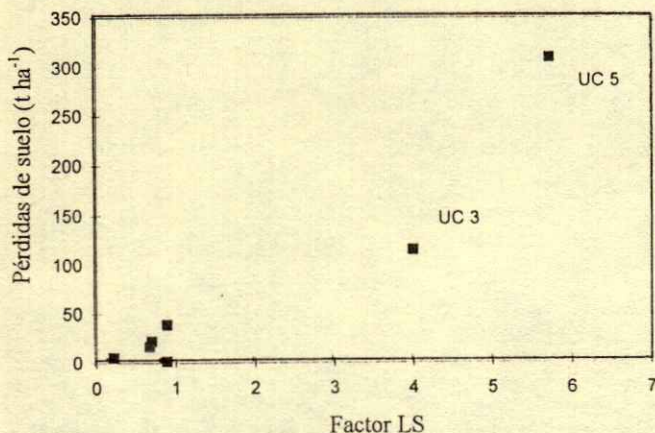


Figura 3. Relación entre las pérdidas de suelo y el factor longitud y gradiente de la pendiente (LS) en cada una de las unidades cartográficas evaluadas.

Cuadro 1. Aumento en la significación de la predicción cuando se emplea un mayor valor del factor de erodabilidad (K), modificado según disminución de la profundidad efectiva de los horizontes.

Variable dependiente: Pérdidas de suelo. Variable independiente: k.

Parámetro	Estimador	E. Std.	P	Significancia
Intercepción	- 36.69	18.24	0.586	NS
Pendiente	227.37	53.98	0.0047	**
Coeficiente de correlación =		0,69	R ² = 0,48	

Variable dependiente: Pérdidas de suelo. Variable independiente: k ajustado.

Parámetro	Estimador	E. Std.	P	Significancia
Intercepción	- 42.03	18.14	0.318	NS
Pendiente	240.67	58,34	0,00013	**
Coeficiente de correlación =		0,739	R ² = 0,55	

** significación al 1 %; NS = no significativo.

impacto de las gotas de lluvia y sólo en ciertos casos se la considera reduciendo el volumen de suelo y la permeabilidad; sin embargo, la profundidad efectiva del perfil se reduce cuando aparece un contacto lítico aunque este aspecto no se considera en el cálculo del factor K.

En nuestro caso, la presencia de un horizonte petrocálcico podría provocar la disminución del tiempo al inicio del escurrimiento, aumentando las pérdidas por erosión. Este comportamiento fue observado en suelos pedregosos o de escaso espesor y fue atribuido a la velocidad con que las capas someras del suelo se saturan (De Ploey, 1987).

El considerar este aspecto provocaría un aumento en el valor de este factor y mejoraría la predicción de las pérdidas por erosión como se observa en el Cuadro 1, al permitir que el factor K explique una mayor proporción de la variabilidad total en este proceso. Esto debería ser analizado en las áreas en que se presenta este tipo de situaciones como ocurre en las regiones de montaña, ya que permite contemplar una condición local que determinaría un mayor riesgo erosivo.

CONCLUSIONES

El uso combinado de la información de la cartografía de suelos con las ecuaciones de predicción de procesos dinámicos permitió la selección de tres unidades cartográficas susceptibles de restaurar con prácticas de uso sencillas de fácil y rápida

implementación, así como también detectar unidades en las cuales tales prácticas no tendrían eficacia.

La utilización de algunos elementos locales para la definición del factor de erodabilidad en la ecuación EUPS mejoraría la predicción de los procesos erosivos en algunas unidades cartográficas.

La complejidad de los aspectos relacionados con el factor de erodabilidad de los suelos, unido a la falta de información básica de las interrelaciones que pueden presentarse con los procesos erosivos no consideradas en la ecuación obliga a extremar los cuidados para su aplicación en las cuencas de zonas áridas.

LITERATURA CITADA

- Aguirre, G. A. y L. M. Martínez. 1994. Mapping soil erosion rates in Autlan, Jalisco, México. Vol. 7b: 227-228. *In: Transactions 15th World Congress of Soil Science*. Acapulco, México.
- Braun Blanquet, J. 1950. Sociología vegetal ACME pp 444 Bs. As.
- Bryan, R. y S. Schnabel. 1994. Estimation of sedimentation rates in the Chemeron Reservoir. *Advances in GeoEcology* 27: 231-248.
- De Ploey, J. 1987. Experimental data on runoff generation. *In: El Swaify, Moldenhauer, Lo. (eds). Soil erosion and conservation*. Soil Conservation Service, USA.
- Gachene, C.K.K. 1995. Evaluation and mapping soil erosion susceptibility: An example from Kenya. *Soil Use and Management* 11: 1-4.
- Gad, A., H. Younes y M.A. Abdel Hady. 1994. Assessment of soil degradation processes in the middle part of Nile valley, Egypt, using GIS and remote sensing techniques. Vol. 7b: 217-218. *In: Transactions 15th World Congress of Soil Science*, Acapulco, México.
- González del Tánago, M. 1991. La ecuación universal de pérdida de suelo: pasado, presente y futuro. *Ecología* 5: 13-50.
- Poessen, J.W.A. y R.B. Bryan. 1990. Influence de la longueur de pente sur le ruissellement: rôle de la formation de rigoles et de côûtes de sédimentation. *Cah. ORSTOM, ser. Pédol.* XXV(1-2): 71-80.
- Risse, L.M., M.A. Nearing, A.D. Nicks y J.M. Laflen. 1993. Error assessment in the Universal Loss Equation. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 57: 825-833.
- Römkens, M.J.M., R.L. Baumhardt, M.B. Parlange, F.D. Whisler, J.Y. Parlange y S.N. Prasad. 1986. Rain-induced surface seals: their effect on ponding and infiltration. *Ann. Geophys.* 4: 417-424.
- Soil Taxonomy. 1975. Soil Survey Staff, Soil Conservation Service U.S. Dept Agricultural Handbook No. 436. Washington, DC.
- Sorriso-Valvo, M., R.B. Bryan, A. Yair, F. Iovino y L. Antronico. 1995. Impact of afforestation on hydrological response and sediment production in a small Calabrian catchment. *Catena* 25: 89-104.

Wischmeier, W.H. y D.D. Smith. 1978. Predicting rainfall erosion losses - a guide to conservation planning. USDA Agriculture Handbook No. 537.

Yu, B. y C.J. Rosewell. 1996. A robust estimator of the R factor for the Universal Soil Loss Equation. Transactions of the ASAE 39(2): 559-561.

CONTENIDO DE HUMEDAD DEL SUELO PARA DECIDIR LA SIEMBRA EN AGRICULTURA DE ZONAS ARIDAS

Soil Water Amount to Decide the Planting Time in Dry Land Agriculture

José Dimas López-Martínez¹ y Jaime Guerrero Alvarado¹

RESUMEN

La agricultura de zonas áridas tiene como factor limitativo la lluvia, sin embargo, en estas áreas se considera que el agua almacenada en el suelo a disposición de las plantas es un mejor parámetro que la lluvia para usarse como indicador del éxito o fracaso del cultivo. Tomando en cuenta lo anterior, el objetivo del trabajo fue desarrollar un modelo estadístico basado en el contenido de agua en el suelo que permita tomar la decisión de sembrar. Un experimento fue establecido durante el verano de 1995 y 1996 en el ejido Fco. Villa, Durango, México. En cada ciclo de cultivo se usaron dos genotipos de maíz (Blanco Hualahuisés y H-412) y se evaluó el contenido de humedad en el suelo al inicio de la siembra y el rendimiento de grano por parcela. Para el análisis se emplearon tablas de contingencia de 2*2 para relacionar contenido de humedad a la siembra y rendimiento de grano para los dos genotipos, además de la prueba de χ^2 para estimar el contenido de agua que defina la siembra. Los resultados mostraron que para el área, los rangos de contenido de humedad en el suelo para decidir la siembra deben de ser de 6.5 a 7.8 cm para Blanco Hualahuisés y 6.5 a 8.3 cm para H-412 en 1995; y de 6.5 a 7.8 cm para Blanco Hualahuisés en 1996. Se concluye que la metodología de χ^2 es una buena herramienta para identificar rangos de humedad inicial en el suelo, permitiendo estos valores tomar la decisión de sembrar.

Palabras clave: Genotipos, prueba de χ^2 , rendimiento de grano.

¹ División de Estudios de Postgrado, Facultad de Agricultura y Zootecnia, Universidad Juárez del Estado de Durango, Apartado Postal 142, 35000 Gómez Palacio, Dgo. México.
e-mail: joshua@teleinfo.com.mx

Aceptado: Marzo de 1999.

SUMMARY

Precipitation is the most important problem under dry land agriculture. However, the soil water amount is a better parameter to decide the hydric stress level in crops. The main objective of this study was to determine a statistical model to decide to plant or not under dry land condition. This model used soil water amount condition as the most important parameter. Two experiments were established in the summer of 1995 and 1996, respectively, at the ejido Francisco Villa, Durango, Mexico. Two corn genotypes (Blanco Hualahuisés and H-412) were used and the soil water amounts were measured from the beginning of the experiment in each plot. Also, grain yields were weighed for statistical analysis, which consisted of using 2*2 contingency tables and χ^2 test to estimate soil water amount for planting. The results indicated that the range optimum of soil water amount for planting varies from 6.5 to 7.8 cm for Blanco Hualahuisés and 6.5 to 8.3 cm for H-412 in 1995; and 6.5 to 7.8 cm for Blanco Hualahuisés in 1996. The main conclusion is that the χ^2 test is a good tool to determine soil water ranges at the beginning of corn planting. Thus, farmers can decide whether to plant or not.

Index words: Genotypes, χ^2 test, grain yield.

INTRODUCCION

La producción de cultivos en las zonas áridas a nivel mundial es función de la expresión de los factores que se presentan en forma natural en el ambiente y de la distribución del clima en tiempo y espacio. De tal manera que para lograr un aprovechamiento integral de los recursos y disminuir riesgos en la producción es necesario desarrollar metodologías que integren los factores suelo, clima, planta y sus interacciones que ayuden a la toma de decisiones en este tipo de agricultura (Hernández *et al.*, 1993).

La agricultura en estas áreas tiene como factor limitativo la precipitación pluvial, tanto en cantidad como en distribución. Sin embargo, la lluvia no siempre es el mejor parámetro para utilizarse en la caracterización de una región en cuanto a la disponibilidad de agua para las plantas. Nix y Fitzpatrick (1969), Goos *et al.* (1984) y Villalpando (1985) consideran que el agua almacenada en el suelo a disposición de las plantas es un mejor parámetro que la lluvia para usarse como elemento de predicción del éxito o fracaso del cultivo. Por lo tanto, se puede emplear como una herramienta en la toma de decisiones. En consideración a lo anterior el objetivo del estudio fue desarrollar un modelo estadístico basado en el contenido de agua almacenada en el suelo que permita tomar la decisión de sembrar.

MATERIALES Y METODOS

Sitio Experimental

El experimento se estableció en el ejido Francisco Villa, municipio de Ciudad Lerdo, Durango, México (Comarca Lagunera) en el Km 10 de la carretera Torreón-Nazareno. Geográficamente se encuentra en los 20°40'40" norte y 103°21'00" oeste y a una altitud de 1110 metros. Se localiza dentro de la Región Hidrológica No. 36 en donde los cultivos predominantes son maíz (47.7 %) y frijol (35 %), ocupando en conjunto 82.7 % de la superficie cultivada dentro del área de secano. (Voisin y Orona, 1993).

Según la clasificación de Köppen, modificada por García (1973), el clima es árido con precipitaciones escasas todo el año y media anual de 240 mm. El periodo de lluvias comprende los meses de mayo a septiembre, lapso durante el cual se presenta 70 % de la precipitación. La temperatura media anual es 20.7 °C. Sin embargo, en la zona durante la estación de primavera y verano (mayo, junio, julio y agosto) la temperatura llega hasta 45 °C, ocasionando estrés hídrico en los cultivos con los consiguientes problemas en la producción agrícola.

Trabajo de Campo

El trabajo se desarrolló durante el verano de 1995 y 1996. Se estableció un experimento con dos genotipos de maíz (Blanco Hualahuises y H-412) bajo

las siguientes consideraciones: la fecha de siembra fue el 18 de septiembre y 23 de agosto de cada año, la densidad de siembra usada fue de 12 kg ha⁻¹, la fertilización se efectuó con la dosis 80-40-00 de nitrógeno y fósforo, respectivamente, aplicándola toda al momento de la siembra.

Variables de Campo Evaluadas

1. Contenido de humedad en el suelo al inicio de la siembra (cm). La humedad del suelo fue medida una sola vez a la siembra, usándose la barrena Veimmheyer para esta determinación. Se obtuvieron muestras compuestas por parcela, de manera de evaluar el contenido de humedad a las profundidades de 0 a 30 cm y de 30 a 60 cm. La humedad fue calculada por el método gravimétrico (Martínez, 1971) utilizándose la Ecuación 1 para su estimación.

$$Hg = (Psh + tara) - (Pss + tara) / (Pss + tara) - tara \quad (1)$$

donde:

Hg = contenido de humedad gravimétrico con base en peso (g g⁻¹).

Psh = peso de suelo húmedo (g).

Pss = peso de suelo seco a la estufa a 105 °C durante 24 horas (g).

Para expresarlo en unidades porcentuales se multiplica el valor que se obtenga por la Ecuación 1 por 100. Luego para expresar estos valores de contenido de humedad en lámina de agua (cm) se emplea la Ecuación 2:

$$Lr = (Hg) * Da * Z / \alpha \quad (2)$$

donde:

Lr = lámina de agua en el suelo (cm).

Hg = contenido de humedad gravimétrico con base en peso (g g⁻¹).

Da = densidad aparente del suelo (g cm⁻³).

Z = profundidad a la que se estime la humedad (cm).

2. Rendimiento de grano por parcela (t ha⁻¹).

Diseño Experimental

Se distribuyeron aleatoriamente 48 parcelas en el campo en una superficie de tres ha, la mitad fue sembrada con el genotipo Blanco Hualahuises

(24 parcelas) y la superficie restante con H-412 (24 parcelas). Esta distribución se realizó con la finalidad de explorar un rango amplio de condiciones de humedad con base en el microrelieve. La superficie en cada parcela fue de 5.6 m de ancho por 10 m de largo, sembrándose el maíz a 0.80 cm entre surcos y a 0.20 cm entre plantas, estableciendo siete surcos en cada parcela y cosechando cinco surcos para obtener rendimiento de grano por parcela.

Metodología

Para estimar el contenido de agua para definir la siembra, se utilizaron los valores de humedad (cm) en el suelo al momento de la siembra y rendimiento de grano durante 1995 y 1996, empleando para el análisis la metodología de χ^2 referenciada por Keisling y Mullinex (1979), quienes aplicaron este procedimiento para evaluar umbrales de suficiencia o toxicidad en micronutrientes, y por Goos *et al.* (1984), quienes trabajando en Dakota del Norte con 53 años de rendimiento de grano mediante esta herramienta definieron el contenido de agua en el suelo necesario para decidir la resiembra en trigo (*Triticum aestivum* L.). Estos autores encontraron que los contenidos de agua en el suelo menores que 6.4 cm no fueron adecuados para la resiembra y que rangos de humedad de 6.4 a 9.4 cm presentaron igual cantidad de éxitos o fracasos en la resiembra, ubicando el contenido de agua de 9.4 cm como la necesaria para tener sucesos exitosos con rendimientos superiores a 1350 kg ha⁻¹.

Esta metodología hace posible estimar el umbral (rango de agua en el suelo) más probable del cultivo, dividiendo la producción en éxitos o fracasos con base en la zona de entrecruce (zona que divide a la población en rendimientos arriba de la media y abajo de la misma), agrupando los datos en estratos que ayudan a estimar el contenido de agua que debe tenerse en el suelo para obtener rendimientos iguales o superiores al de la media regional (1000 kg ha⁻¹). Lo anterior ayuda a tomar la decisión de sembrar o no. El valor del rendimiento promedio regional que se consideró (1000 kg ha⁻¹) para el área de estudio es similar al de otras áreas de México según lo reportado por Peña y Zapata (1990); estos autores encontraron para maíz en la zona centro de México rendimientos de 645 a 835 kg ha⁻¹ en genotipos precoces bajo condiciones críticas de humedad y con siembras tardías

como sucedió en 1995 y 1996 para Blanco Hualahuises y H-412.

El valor de χ^2 para cada valor crítico se calculó mediante la Ecuación 3:

$$\chi^2 = \frac{(N11 N22 - N12 N21)^2 N..}{N1. N2. N.1 N.2} \tag{3}$$

donde: N11 es el número de parcelas con rendimiento de grano menores que el promedio regional para contenidos de agua deficientes. N21 son las parcelas con rendimiento de grano mayores que el promedio regional para contenidos de agua deficientes. N12 es el número de parcelas con rendimiento de grano menores que el promedio regional para contenidos de agua suficientes. N22 son las parcelas con rendimiento de grano mayores que el promedio regional para contenidos de agua suficientes. N1. y N2. son el total de parcelas de la hilera correspondiente. N.1 y N.2 son el total de parcelas de la columna correspondiente y N.. es el total de parcelas evaluadas.

El cálculo de los parámetros que integran la Ecuación 3 se obtuvo con el uso de tablas de contingencia de 2*2. Para realizar el procedimiento de las tablas de contingencia de 2*2 se utilizaron los siguientes valores críticos para contenido de humedad: 6.5, 7.0, 7.5, 8.0, 8.5, 9.0, 9.5, 10.0 y 10.5 cm, además del rendimiento promedio regional de 1000 kg ha⁻¹. Los valores arriba y abajo de dicho rendimiento definieron la transición entre éxitos y fracasos, arreglándose los parámetros de la ecuación en la tabla de contingencia que se ilustra a continuación.

			Sumas
	N11	N12	N1.
	N21	N22	N2.
Sumas	N.1	N.2	N..

Una vez efectuado el procedimiento de las tablas de contingencia, los valores obtenidos se sustituyen para cada valor crítico en la Ecuación 3 y se calculan los valores de χ^2 , construyéndose un diagrama de dispersión con los valores de contenido de humedad en el eje de las (X) y valores de χ^2 en el eje de las (Y) señalando en la gráfica la zona de entrecruce, este valor (zona de entrecruce) se obtiene con el rendimiento promedio regional de 1000 kg ha⁻¹ en tablas de χ^2 a un nivel de significancia (α) de 0.05 y para un grado de libertad (c-1), (h-1), columnas (c) e hileras (h), respectivamente (Steel y Torrie, 1988) y con base en este diagrama se definen los rangos de

humedad. Esta metodología de χ^2 fue utilizada debido a que en un trabajo anterior, López y Pissani (1996), señalaron que el análisis de regresión como herramienta para lograr el mismo objetivo tuvo poco ajuste para la base de datos analizada, según los resultados de R^2 de 0.13, 0.49; para Blanco Hualahuises y de 0.32 y 0.29 para H-412 en 1995 y 1996, respectivamente.

RESULTADOS Y DISCUSION

Condiciones Climáticas

Para 1995 las condiciones climáticas fueron muy limitadas, lo cual incrementó las condiciones de sequía que se tenían desde 1993. La precipitación durante este año fue de 182.6 mm y la cantidad de agua precipitada durante el ciclo de cultivo fue de 118.5 mm (Figura 1).

La Figura 1 indica que durante 60 días el cultivo se mantuvo con la humedad almacenada en el suelo proveniente de la lluvia durante este lapso de tiempo. Lo anterior originó problemas posteriores en el desarrollo del cultivo principalmente en la etapa de llenado de grano, debido a las altas temperaturas que se presentaron de septiembre a octubre que ocasionaron que la humedad se perdiera con mayor facilidad debido a la evaporación. Esto provocó factores limitativos en la etapa de llenado de grano y redundó lo anterior en baja producción de grano.

En 1996 se presentaron condiciones de humedad en el suelo más críticas, la precipitación durante este año fue de 145.6 mm, la cantidad de agua precipitada durante el ciclo de cultivo fue de 95 mm (Figura 2). Sin embargo, a diferencia de 1995, en donde hubo mayor cantidad de precipitación durante el ciclo,

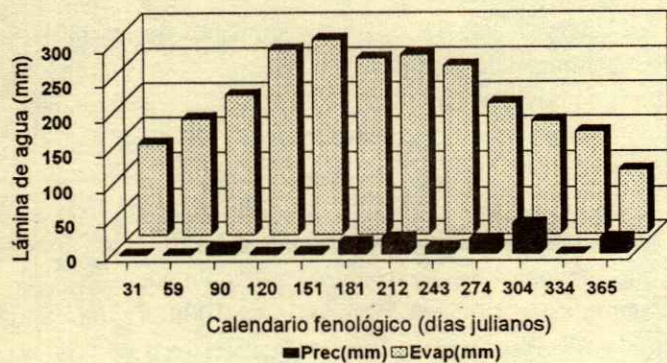


Figura 1. Comportamiento del clima (evaporación y precipitación). Francisco Villa, Durango. México. 1995.

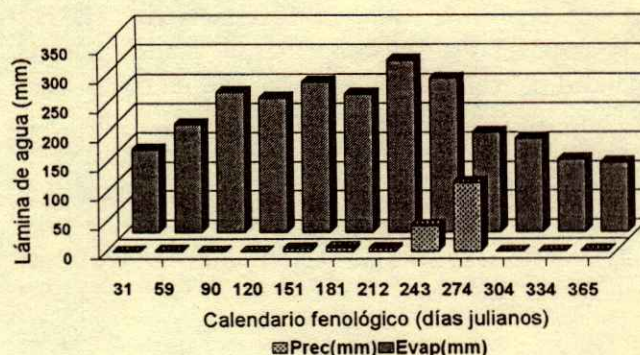


Figura 2. Comportamiento del clima (evaporación y precipitación). Francisco Villa, Durango. México. 1996.

en 1996 la mayor cantidad de agua se precipitó al momento de la siembra (80 mm), subsistiendo el cultivo con lluvias que en total fueron de 15 mm posterior al primer evento mencionado, de ahí que los contenidos de agua a la siembra fueran mayores que en 1995.

Lo anterior ocasionó que se tuvieran restricciones de humedad en el suelo en los dos ciclos con los consiguientes perjuicios en la producción, que significó bajos rendimientos. Esto coincidió con lo reportado por Jordan (1983) y por Qui y Redman (1993), quienes

Cuadro 1. Rendimiento de grano y lámina de agua a la siembra por parcela en maíz Blanco Hualahuises y H-412. Francisco Villa, Durango. México. 1995.

Blanco Hualahuises		H-412	
Rendimiento grano	Contenido agua siembra	Rendimiento grano	Contenido agua siembra
kg ha ⁻¹	cm	kg ha ⁻¹	cm
976	6.05	1200.1	5.0
928	6.22	1482.2	7.0
1236.1	6.28	1282.1	7.5
1064.1	6.51	1141	7.5
1464.1	7.84	1229.6	9.7
988	7.93	1364.1	9.8
1156.1	8.01	1291.9	9.8
935	8.25	1265.7	9.8
1454.1	8.25	1439.5	10.0
962	8.38	1459.2	10.6
1304.1	8.48	1232.9	10.8
1500.1	8.50	1190.2	10.8
1600.1	8.95	1095.1	10.8
1450.1	9.29	1248.4	11.0
1112.1	9.53	1124.6	11.2
1120.1	10.08	1098.4	11.4
1468.1	10.08	995	11.4
1204.1	10.12	1042.6	11.4
1456.1	10.53	916.3	11.5
1039.5	11.60		

Cuadro 2. Rendimiento de grano y lámina de agua a la siembra por parcela en maíz Blanco Hualahuises y H-412. Francisco Villa, Durango. México. 1996.

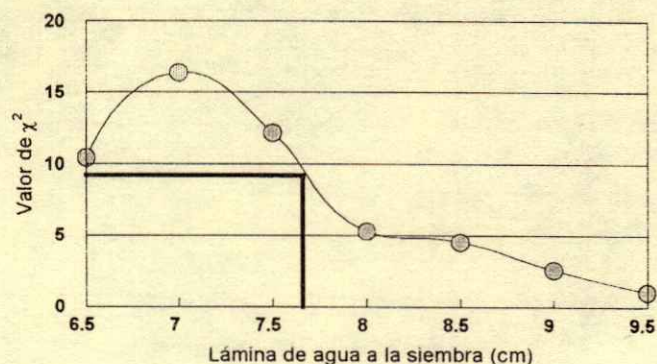
Blanco Hualahuises		H-412	
Rendimiento grano	Contenido agua siembra	Rendimiento grano	Contenido agua siembra
kg ha ⁻¹	cm	kg ha ⁻¹	cm
3090	6.36	2120	8.22
2440	6.42	2090	8.76
2400	6.75	2430	8.85
1080	7.26	1590	8.85
950	7.32	2250	8.88
950	7.32	1830	9.0
1010	7.50	2310	9.25
1870	7.53	2770	9.27
1030	7.59	2200	9.27
1620	7.65	2040	9.33
2010	7.81	2010	9.33
3060	8.13	1920	9.60
2730	8.67	3130	9.81
2150	8.73	2150	9.9
1700	8.79	2050	9.9
3030	9.00	1490	10.02
1500	9.18	1280	10.02
940	9.21	1440	10.08
2270	9.24	1640	10.35
2850	9.63	1370	10.47
2260	9.66	1200	10.47
850	9.75	1800	10.56
2520	9.96	1250	10.77

mencionan el efecto negativo de la reducción de humedad sobre el desarrollo del cultivo.

En los Cuadros 1 y 2 se presenta la información de contenido de agua en el suelo a la siembra y rendimiento de grano para los dos genotipos en 1995 y

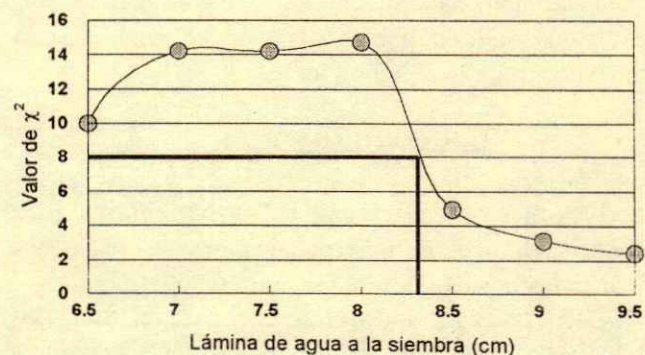
Cuadro 3. Resultados de la prueba de χ^2 para rendimiento de grano en maíz Blanco Hualahuises y H-412. Francisco Villa Durango. México. 1995-1996.

Valor crítico contenido agua	1995		1996	
	Blanco Hualahuises	H-412	Blanco Hualahuises	H-412
	χ^2	χ^2	χ^2	χ^2
6.5	9.97	9.40	10.40	-
7	14.18	9.42	16.38	-
7.5	14.18	20.0	12.15	-
8	14.70	8.88	5.28	-
8.5	4.93	8.88	4.50	-
9	3.13	8.88	2.58	-
9.5	2.42	2.71	1.02	-
10	1.02	2.71	-	-
10.5	0.95	-	-	-
11.0	0.24	-	-	-


Figura 3. Prueba de χ^2 para maíz Blanco Hualahuises. Francisco Villa, Durango. México. 1995.

1996 en las parcelas que llegaron a producción de grano. Se perdieron cuatro parcelas en 1995 y cinco parcelas en 1996, quedando 19 y 20 en cada año, respectivamente. Estas parcelas se perdieron por restricciones de humedad durante el ciclo, que causaron que no se llegara a producción de grano o forraje. A partir de estos valores de rendimiento de grano y humedad a la siembra se estimó el estadístico de χ^2 que permitió calcular los rangos de contenido de humedad a la siembra.

Los resultados del Cuadro 3 (valores de χ^2 para ambos genotipos) y de las Figuras 3 y 5 (estadístico de χ^2 para ambos genotipos) muestran que la zona de entrecruce para Blanco Hualahuises en los dos ciclos (1995 y 1996), presenta valores de contenido de agua de 6.5 a 7.8 cm y de 6.5 a 7.8 cm, respectivamente, a un nivel de significancia (α) de 0.005; en 1996 no se obtuvieron rangos de humedad para H-412, ya que los valores de rendimiento de campo (Cuadro 2) excedieron el valor de la media regional (1000 kg ha⁻¹) por


Figura 4. Prueba de χ^2 para maíz H-412. Francisco Villa, Durango. México. 1995.

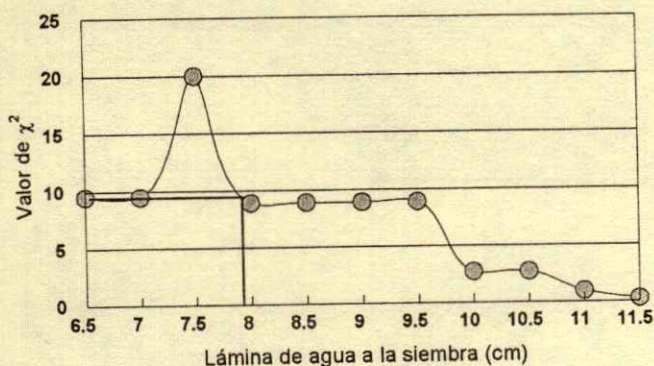


Figura 5. Prueba de χ^2 para maíz Blanco Hualahuis. Francisco Villa, Durango. México. 1996.

lo cual no fue posible aplicar la metodología. En el área de estudio éste es el rendimiento promedio que se consideró y a este valor hay que generar los modelos, observándose que en 1996 el menor valor de contenido de agua registrado a la siembra fue de 8.22 cm (Cuadro 2), lo cual supera cualquier rango de los calculados para Blanco Hualahuis. Para el caso del genotipo H-412 en 1995 (Figura 4) el rango de humedad para definir la siembra se ubicó en valores de 6.5 a 8.3 cm.

Con base en los resultados anteriores es factible esperar con los rangos estimados en ambos genotipos un rendimiento igual o mayor que el promedio regional y arriba de esos rangos de contenido de agua en el suelo se tendrán producciones mayores que 1000 kg ha⁻¹. Esto coincide con Goos *et al.* (1984), quienes mencionaron que el contenido de agua en el suelo a la siembra es un factor crítico en el éxito de la producción agrícola en zonas áridas.

Los anteriores resultados variaron debido a la diferencia que se presentó en contenidos de agua en el suelo entre parcelas. Sin embargo, se considera que los resultados son confiables al nivel de significancia obtenido y para cada genotipo.

CONCLUSIONES

La prueba de χ^2 es una buena herramienta para identificar rangos de humedad inicial en el suelo que definan las posibilidades de siembra o no siembra.

Los resultados mostraron que para el área, los rangos de contenido de humedad del suelo para establecer la siembra deben ser de 6.5 a 7.8 cm para Blanco Hualahuis y de 6.5 a 8.3 cm para H-412, respectivamente, en 1995; y de 6.5 a 7.8 cm para

Blanco Hualahuis en 1996 a un nivel de significancia (α) del 0.005. Estos valores de humedad ayudaron a que se obtuvieron similar cantidad de éxitos o fracasos en los rendimientos de grano iguales o mayores que la media regional (1000 kg ha⁻¹). Por lo tanto, el contenido de agua en el suelo suficiente para tener sucesos exitosos con rendimientos superiores a 1000 kg ha⁻¹ debe presentar valores iguales o mayores que 7.8 y 8.3 cm, respectivamente, para Blanco Hualahuis y H-412 en los dos ciclos.

Se sugiere validar esta metodología en otras áreas de la Comarca Lagunera, México, para ampliar sus perspectivas de aplicación e investigación bajo condiciones de riesgo climático.

LITERATURA CITADA

- García, E. 1973. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana. Publicaciones Universidad Nacional Autónoma de México. México, D.F.
- Goos, R.J., B.E. Johnson, F.J. Sobolik y R.P. Schnaider. 1984. Stored available soil water and the fallow/recrop decision critical level approach. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 48: 1134-1137.
- Hernández Y., C., M. Villa C. y L. Jiménez. 1993. Crop production regional risk analysis. Conferencia Internacional para el Desarrollo de Zonas Áridas. México, D.F. pp. 54.
- Jordan, W. 1983. Whole plant responses to water deficits: An overview. pp. 289-317. In: Taylor, H., A. Jordan and T.R. Sinclair (eds.). ASA-SSSA. Madison, Wisc. USA.
- Keisling, T.C. y B. Mullinex. 1979. Statistical consideration for evaluating micronutrient tests. *Soil Sci. Soc. Am.* 43: 1181-1184.
- López, M. J.D. y J.F. Pissani Z. 1996. Enfoque metodológico para la planeación de la agricultura de secano. pp. 51-56. In: Memorias de Seminarios de Investigación de Doctorado en Ciencias Agrícolas. Universidad Autónoma de Nuevo León. Monterrey, Nuevo León, México.
- Martínez M., M. 1971. Calibración y comparación de algunos métodos para la determinación de humedad del suelo. Tesis de Maestría en Ciencias. Colegio de Postgraduados, Chapingo, México.
- Nix, H.A. y E.A. Fitzpatrick. 1969. An index of crop stress related to wheat and grain sorghum yields. *Agr. Meteorology J.* 6: 321-337.
- Peña, R.A. y R.J. Zapata. 1990. Respuesta de variedades precoces de maíz a condiciones de temporal deficiente. Tercera Reunión Nacional de Investigación Forestal y Agropecuaria. Aguascalientes, México. pp. 54-55.
- Qui, M.Q. y R.E. Redman. 1993. Seed germination and seedling survival of C4 and C3 grasses under water stress. *J. Arid Environments* 24: 277-285.
- Steel, D.R.G. y J.H. Torrie. 1988. Bioestadística: Principios y procedimientos. Segunda edición. McGraw-Hill. México, D.F.

Villalpando I., J.F. 1985. Metodología de investigación en agroclimatología. Secretaria de Agricultura y Recursos Hidráulicos. Consejo Directivo de Investigación Agrícola, Pecuaria y Forestal. México, D.F. pp. 67-79.

Voisin, O. y C.I. Orona. 1993. Agricultura de Temporal. Estudio de los factores que influyen los escurrimientos y el uso del agua en la Región Hidrológica No. 36. SARH-INIFAP-CENID-RASPA. Gómez Palacio, Durango México. pp. 273-285.

POSIBILIDADES TECNICAS DE LOGRAR LA SOBERANIA ALIMENTARIA DE ORIGEN VEGETAL EN MEXICO

Technical Possibilities of Reaching Selfsufficiency in Food Crops in Mexico

Antonio Turrent Fernández¹, René Camacho Castro², Néstor Francisco Nicolás², Sergio Uribe Gómez², José Isabel Cortés Flores³ y Ricardo Mendoza Robles⁴

RESUMEN

Se estimó la potencialidad del campo mexicano de producir alimentos de origen vegetal, a partir de la información de los censos y de las estadísticas de producción de la SAGAR. Se partió del modelo de que la producción tiene como factores al rendimiento (componente de intensidad) y a la superficie cosechada (componente de capacidad). La superficie cosechada es a su vez una función de la superficie de labor, del índice de cultivo (IC) y del índice de no-siniestro (INS). La superficie nacional cosechada cada año promedió 17.7 millones de hectáreas en el periodo 1990-1994, no obstante que la superficie de labor era de 31 millones de ha. La discrepancia se debió a que el IC fue apenas de 0.64 y el INS de 0.90. El IC de 0.64 equivale a que sólo 64 % de la tierra de labor fuera sembrada una vez al año; como una fracción de riego y de temporal se siembra dos veces al año, la fracción de tierra dejada de sembrar se aproxima a 50 %. El IC de México es bajo; ha de compararse con los de Africa Subsahariana 0.55, Cercano Oriente 0.83 y Asia Meridional 1.10. A una serie de tiempo de 14 años de los 17 granos alimenticios más importantes (seis cereales, siete leguminosas comestibles y cuatro oleaginosas) se ajustó una ecuación logarítmica (modelo Cobb-Douglas) en la que la producción global era la variable dependiente y las variables independientes fueron el rendimiento medio y para los cultivos de ciclo corto: la superficie de labor, el IC e INS. Esta ecuación reprodujo con fidelidad todos los máximos y mínimos de la producción global de los

17 granos. La ecuación predice que el campo mexicano podría producir 48 millones de toneladas de los 17 granos si a lo logrado en 1995 (superficie de labor e INS) se hicieran coincidir el máximo rendimiento observado (1992, $R=2.403 \text{ t ha}^{-1}$) y un IC igual a 1 (1981; $IC=0.882$). La producción combinada de 17 granos permitiría alimentar a un México de 150 millones de habitantes, suponiendo lo necesario. Se ha estimado que tal sería la población del país hacia mediados del siglo 21.

Palabras clave: Superficie de labor, índice de cultivo, índice de no-siniestro, 17 cultivos básicos.

SUMMARY

Potential production of food crops in Mexico was estimated from the national census and from SAGAR statistics. A model that assumes that production is a function of yield (intensity component) and harvested area (capacity component) was adopted. Harvested area is a function of farmland area, cropping index (CI) and crop non failure index (CNFI). Observed harvested area averaged 17.7 million hectares in period 1990 through 1994, notwithstanding that total farmland was 31 million ha. The huge discrepancy between harvested area and total farmland area was explained by a CI of 0.64 and a CNFI equal to 0.90. The observed CI was equivalent to only 64 % of farmland being planted once a year. Thus, a fraction of farmland approaching 50 % remains unplanted every year, since fractions of rainfed farmland and under irrigation are known to be planted twice a year. This is an unsustainable underuse of farmland. The low CI of Mexico compares with 0.55 for Subsaharan Africa, 0.83 for the Middle East, and 1.10 for Northern Asia. A Cobb-Douglas model was fit to a 14-year time series involving 17 staple food crops (six cereals, seven pulses, and four oilseeds). The combined total production of the 17 food crops was the dependent variable, while independent variables were the

¹ Campo experimental Valle de México, CIRCE-INIFAP, km. 38.5 carretera México-Texcoco. 56230 Texcoco.

Interlocutor postal; correo-e: turren1@ibm.net. ² Brigada de investigación Los Tuxtlas, Campo experimental del Papaloapan, CIRGOC-INIFAP. ³ Instituto de Recursos Naturales del Colegio de Postgraduados de la SAGAR, Montecillo, Texcoco. ⁴ Campus Puebla del Colegio de Postgraduados.

combined average yield, farmland area in short season food crops, CI and CNFI. The empirical equation showed an adequate fit; it reproduced closely the observed function relative maxima and minima. This equation predicts that the national 17 food crop harvest would equal 48 million metric ton, should farmland area and CNFI remain as in year 1995, while the average combined yield would equal the time series observed maximum (1992; $Y=2.403 \text{ t ha}^{-1}$) and CI would reach the value of 1 (observed maximum in 1981; $CI=0.882$). This level of production of 17 staples would meet the demand for a country population of 150 million, which Mexico will reach by year 2050.

Index words: Farmland area, cropping index, crop non failure index, 17 food crops.

INTRODUCCION

Es bien conocido, que el crecimiento de la producción de alimentos de origen vegetal en México fue rebasado por el crecimiento de la población durante el último cuarto de siglo, si bien, de manera moderada. A finales de la década de los años 60, quedó aparentemente agotado el factor "crecimiento de la superficie de labor cosechada", hasta entonces principal motor del incremento en la producción agrícola. Desde esos años y hasta 1996, la población nacional se duplicó, alcanzando 93 millones de habitantes, mientras que la generación de nuevas tecnologías para la producción y su transferencia, quedaron, de facto, como factores únicos del crecimiento de la producción de alimentos. En otras palabras, el incremento en la productividad de la tierra funcionó como camino único para incrementar la producción de alimentos. Justo es resaltar que, aunque insuficiente para satisfacer la creciente demanda nacional, en nada fue despreciable el aumento en la producción de alimentos por esta vía del incremento en la productividad de la tierra. En el período citado, la población nacional creció a la tasa promedio anual de 2.65 %, en tanto que la producción global de cuatro granos básicos de la dieta nacional (maíz, frijol, trigo y

arroz) aumentó a la tasa promedio de 2.36 %¹. De ahí que el desabasto haya sido moderado. Es necesario acotar, que ambas tasas de crecimiento, la de la población y la de la producción de los cuatro granos básicos, mostraron tendencias hacia la desaceleración. En el período 1965-1969 a 1980-1984, esas tasas fueron de 3.10 y 2.62 %, respectivamente. En el período 1980-1984 a 1990-1994 la tasa de crecimiento demográfico fue de 1.95 % y la del crecimiento de la producción fue también de 1.95 %². Es claro que, si ambas tasas de crecimiento, la de la población y la de la producción de alimentos, siguen siendo iguales en lo futuro, el desabasto nacional de los cuatro granos básicos, no habría de empeorar en relación a la situación actual.

En el presente documento, se examinan algunas opciones del campo mexicano en cuanto al cómo incrementar significativamente su producción de alimentos de origen vegetal, a plazos mediano y largo. Este ejercicio se apoya en el conocimiento de la dotación de los recursos tierra, agua, clima, mano de obra y tecnología, así como en el conocimiento objetivo que se deriva del esfuerzo oficial de seguimiento del comportamiento del campo, y de la investigación agrícola pertinente desarrollada en el país y en el extranjero. Se toman en cuenta los rendimientos actuales, la disponibilidad actual de tierra de labor, la "reserva de tierra de labor" (Turrent, 1996), la distribución de los recursos agua y clima, el índice de cultivo (Andrews y Kassam, 1976), el índice de no-siniestro y la eficiencia relativa en el uso de la tierra. La producción agrícola es desagregada en dos componentes, él de capacidad y él de intensidad. El componente de capacidad equivale a la superficie anual cosechada, en tanto que él de intensidad equivale al rendimiento de cada hectárea cosechada. En este ejercicio, el componente de capacidad se aborda desde la perspectiva de un todo desagregable en cuatro factores, a saber: la superficie de labor (L), el índice de cultivo (IC), el índice de no-siniestro (INS) y la

¹ Si se comparan los quinquenios 1965-1969 y 1990-1994, con 25 años de distancia entre sí, se notará que las superficies globales cosechadas anualmente con los cuatro cultivos: maíz, frijol, trigo y arroz, fueron respectivamente de 10.58 y 10.31 millones de ha en ambos quinquenios, en tanto que las producciones anuales promedio de los mismos cuatro cultivos fueron respectivamente 12.21 y 21.87 millones de toneladas.

² En los quinquenios 1965-1969, 1980-1984 y 1990-1994, la población nacional promedio fue de 43.82, 69.53 y 84.51 millones de habitantes, respectivamente, la producción anual promedio de los cuatro granos básicos fue 12.21, 18.00 y 21.87 millones de toneladas y las superficies totales cosechadas fueron 10.58, 9.90 y 10.31 millones de ha.

eficiencia relativa de la tierra (ERT). Además, en un ejercicio con horizonte de plazo largo, parecería válido desagregar a la superficie de labor, a su vez, en dos subcomponentes: la tierra de labor actual y la reserva de tierras de labor. Aquí el supuesto central es que, en el plazo largo, los factores que dictan el actual status de "reserva de tierras de labor" habrían de ceder su vigencia.

Las series de tiempo del campo mexicano muestran la evolución de los cuatro factores del componente de capacidad y sugieren la posibilidad de su modificación futura, a través de políticas específicas. Un incremento en cualquiera de los índices IC, INS o ERT representa un incremento en la superficie cosechada, que es independiente de la superficie de labor, pero que depende de la calidad agronómica de la tierra de labor³. Una política que privilegiara el incremento en aquellos índices podría ser un camino complementario del incremento en la productividad de la tierra, para alcanzar y sostener la soberanía alimentaria y, a la vez, generar empleo en montos significativos a nivel nacional.

Ambos sectores del campo, el empresarial y el tradicional, ya contribuyen en el incremento de la productividad de la tierra que se ha observado en los últimos 25 años, y que, probablemente, habrá de continuar en lo futuro. En este ejercicio se adopta el supuesto de que esos sectores pueden también participar, si bien de manera diferente, en el incremento de la capacidad del campo mexicano. La diferencia surge de las oportunidades diferentes en términos de rentabilidad, que se asocian con la estructura y funcionamiento de sus unidades típicas de producción. Así, el sector empresarial puede ser participe selectivo del incremento en el índice de cultivo y en el índice de no-siniestro, en tanto que el sector tradicional, gracias a sus características estructurales y de funcionamiento, parecería ser el participante central del incremento en los tres índices IC, INS y ERT.

³ González *et al.*, (1991) clasifican 24 millones de hectáreas de labor de México en seis Provincias Agronómicas (PA) según (1) el régimen hídrico, (2) la profundidad del suelo, y (3) el cociente precipitación/evaporación del período junio-septiembre. PA de Riego: 6 millones de ha; PA de Muy Buena Productividad: 3.61 millones de ha; PA de Buena Productividad: 2.33 millones de ha; PA de Mediana Productividad: 6.17 millones de ha; PA de Baja Productividad: 3.26 millones de ha; y PA de Tierras Marginales: 2.65 millones de ha.

El trabajo de investigación realizado en México y en el extranjero sobre tecnologías pertinentes al índice de cultivo y a la eficiencia relativa de la tierra señala en el contexto general, y en varios casos, en el contexto particular, la oportunidad de pasar directamente a la fase de transferir esas tecnologías. En otros muchos contextos particulares, es aún necesario realizar investigación estratégica y aplicada para generar la tecnología pertinente. Estos contextos quedan definidos por la intersección de las categorías de la calidad agronómica de la tierra de labor y las características estructurales y funcionales de la unidad de producción. En este documento se intenta señalar la mezcla de esfuerzos necesarios en materia de transferencia y de investigación estratégica y aplicada, pertinente a los factores del componente de capacidad, como camino complementario para aumentar la producción de alimentos de origen vegetal en México.

El propósito de este ensayo se restringe a señalar el potencial productivo actual de alimentos de origen vegetal del campo mexicano, que es derivable de la disponibilidad de recursos naturales y de la tecnología. El ejercicio no examina las condiciones de competitividad o de políticas gubernamentales que enmarcan a la producción observable de alimentos. Si es válido el símil, es como abordar el estudio de la "reserva probada de hidrocarburos" que no la "extracción anual de hidrocarburos". Sin embargo, el estudio de la reserva probada de hidrocarburos es un factor estratégico por cuanto a las decisiones de política que definen la extracción anual.

LOS RECURSOS DEL CAMPO Y SU USO ACTUAL

El campo mexicano cuenta con 31 millones de hectáreas de tierra de labor (INEGI, 1994), con 120 millones de hectáreas en uso ganadero, y con 38 millones de hectáreas ocupadas por macizos arbolados. Con este recurso tierra, el campo produce los alimentos, fibras y otros insumos industriales requeridos para el desarrollo del país. Cada año, llueven 1530 km³ de agua sobre el territorio nacional, de los que 410 km³ escurren al mar en los ríos (Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos, SARH, 1988). Esta misma fuente señala, que la infraestructura hidráulica nacional retiene 147 km³, que hay, además, 31 km³ de aguas renovables en el subsuelo (exploradas en 73 % del territorio)

susceptibles de uso en riego, y otros 110 km³ de aguas fósiles del subsuelo (en 50 % del territorio nacional explorado), posibles de sobreexplotar. Con una parte de estos recursos hidráulicos, se riegan unas seis millones de hectáreas. Cabe también resaltar el carácter heterogéneo de la distribución del recurso agua y de la tierra de labor bajo riego. El 63 % del escurrimiento anual de los ríos del país se ubica en ocho estados del sur y sureste (Veracruz, Tabasco, Campeche, Yucatán, Quintana Roo, Chiapas, Oaxaca y Guerrero), según la Secretaría de Recursos Hidráulicos, SRH (1976), en tanto que sólo una fracción minúscula de la superficie bajo riego se encuentra en esos ocho estados. La superficie nacional de tierras de labor es actualmente de 31 104 451 ha, según los VII censos (Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, INEGI, 1994), mientras que la población fue de 91 158 290 habitantes en 1995. Por lo tanto, la disponibilidad actual de tierra de labor es de 0.34 ha per capita, y si no cambia la superficie de tierras de labor, será de 0.25 ha per capita hacia el año 2010, cuando la población alcance 125 millones de habitantes (FAO, 1993). En contraste, Estados Unidos y Canadá disponen de 0.75 ha de labor per capita en conjunto. Australia y Nueva Zelanda, juntos, tienen 1 ha de labor per capita, Europa 0.33 ha y Asia 0.23 ha per capita. La disponibilidad de tierra de labor por habitante de México es similar a la de Europa y hacia el año 2010, será similar a la de Asia en la actualidad.

Con base en el régimen hídrico con que se manejan, las tierras de labor⁴ de México se clasifican como sigue: (1) 25 487 694 ha de temporal y (2) 5 616 757 ha de riego. Las tierras de labor bajo temporal han sido clasificadas por González *et al.* (1991) en cinco Provincias Agronómicas, como se muestra en el Cuadro 1. La suma (17.1 millones de ha) de las Provincias Agronómicas de Muy Buena, de

Buena y de Mediana Productividad representa la disponibilidad actual de buenas tierras de labor en el campo mexicano. El riesgo de producción en estas tierras es razonable, en tanto que están dotados de "buen cielo" y que sus suelos son profundos. En las 8.4 millones de ha de labor restantes, el riesgo del proceso de producción es medio a extremo, por razones opuestas a las dadas para el estrato anterior. En el quinquenio 1990-1994, el campo mexicano dispuso de 3 693 862 ha de labor, plantadas con 241 cultivos perennes, (1 051 697 ha bajo riego y 2 642 165 ha bajo temporal), en tanto que las restantes 27 175 768 ha de labor se destinaron a 180 cultivos cíclicos (Secretaría de Agricultura, Ganadería y Desarrollo Rural, SAGAR, 1995).

Analistas de la SARH han estimado con métodos cartográficos que el país dispone de unos 37.5 millones de hectáreas de tierras de alto y de mediano potencial productivo agrícola. De esta superficie sólo 32 millones coinciden con la ubicación del recurso agua (SARH, 1988). Es claro, que las 8.4 millones de ha de las Provincias Agronómicas de Baja Productividad y de Tierras Marginales señaladas en el Cuadro 1, no forman parte de los 32 millones de hectáreas de tierras con potencial agrícola estimadas por los analistas de la SARH. Tendría que haber, por lo tanto, unos 9 millones de ha de tierras con potencial agrícola en otros usos. Con base en la información previa a la de los censos de 1991, el primer autor se refiere en otro documento, a una "reserva de tierras de labor" del país, que es del orden de magnitud de 12 millones de ha. Estas tierras se ubicarían principalmente en los estados ribereños del golfo de México y del Pacífico, al sur del Trópico de Cáncer (Turrent, 1996). Su uso actual es pecuario, bajo sistemas típicamente extensivos.

Es útil revisar la estructura bajo la que se realiza la explotación del campo mexicano, particularmente en su sector agrícola. Los censos de 1991 indican, que de un total de 3805 millones de unidades de producción (UP), 1313 millones cuentan con menos de 2 ha, 0.964 millones cuenta con 2 a 5 ha, 1188 millones con 5 a 20 ha, 200 mil con 20 a 50 ha, y 140 mil con más de 50 ha. También es útil revisar el uso de varias fuentes de potencia en las UP, por su impacto sobre la productividad de la mano de obra. Solamente 22.2 % de ellas usa el tractor como fuente primaria de potencia, 29.7 % usa a la tracción animal como fuente primaria de potencia, 15.6 % usa potencia mixta

⁴ Según definición del VII censo Agrícola-Ganadero y Ejidal, la superficie de labor es el área destinada para cultivos, independientemente de que se haya realizado o no la siembra o plantación en el año agrícola de referencia, así como las tierras que no fueron sembradas por diferentes motivos y aquellas otras que tienen pastos naturales, agostadero o están enmontadas y que fueron sembradas al menos una vez en los últimos cinco años. De los 31 104 451 ha, 21 014 358 ha estaban sembradas con cultivos de ciclo corto o con perennes, 3 829 256 ha permanecieron "en descanso", 5 694 088 ha no fueron sembradas por diversas razones (falta de crédito, lluvias tardías, etc.) y 566 750 ha fueron sembradas una vez en los últimos cinco años.

Cuadro 1. Clasificación de las tierras de labor de temporal de México, según cinco Provincias Agronómicas.[†]

Provincia según su productividad	Agronómica	Superficie ha	Cociente P/E [‡]	Espesor del suelo [§]
Muy Buena		5 101 872	0.9 a 2.0	profundos
Buena		3 294 794	> 2.0	profundos y delgados
Mediana		8 724 183	a. 0.5 a 0.9 b. 0.7 a 2.0	profundos delgados
Baja		4 617 861	a. < 0.5 b. 0.5 a 0.7	profundos delgados
Tierras Marginales		3 748 984	< 0.5	delgados
Total nacional		25 487 694		

[†] Las superficies de cada Provincia Agronómica (PA) fueron actualizadas por el autor con base en los censos de 1991, bajo la suposición de que el incremento registrado en la superficie de labor de cada PA es constante en términos relativos, e igual al incremento relativo de la superficie total bajo temporal.

[‡] Cociente de la precipitación y evaporación totales del periodo de junio a septiembre.

[§] Profundo, si el espesor del suelo es mayor que 1 m, y delgado, si menos de 1 m.

FUENTE: González *et al.* (1991).

Los ajustes son responsabilidad de los autores.

(animal y tractor), en tanto que 32.5 % usa potencia humana de manera exclusiva. Al examinar ambos componentes estructurales del sector agrícola, resaltan (a) la amplia inversión en el factor mano de obra; (b) la escasa disponibilidad de tierra; y (c) la baja inversión en la fuente de potencia no-humana (capital). La comparación entre las anteriores cifras y las que señala Rodríguez (1976), sugiere que no ha cambiado la prevalencia del sector tradicional sobre el sector empresarial en el campo mexicano, en las tres últimas décadas.

ECUACION DE LA PRODUCCION AGRICOLA

En el proceso de producción agrícola, se puede identificar a los componentes de intensidad y de capacidad del campo mexicano. La intensidad está representada por el rendimiento de los cultivos y la capacidad por la superficie cosechada. A continuación se muestra la expresión que asocia al componente de capacidad del campo mexicano (superficie cosechada) a los factores superficie de labor, índice de cultivo e índice de no-siniestro⁵, en el quinquenio de 1990-1994. Esta información incluye a 241 cultivos perennes y a

180 cultivos cíclicos o de ciclo corto (INEGI, 1994; SAGAR, 1995).

Superficie cosechada = Superficie de labor X Índice de cultivo X Índice de no-siniestro X Eficiencia relativa de la tierra

$$17\,729\,900\text{ ha} = 30\,945\,864\text{ ha} \times 0.638247 \times 0.897667 \times 1.000 \quad (1)$$

En el período 1990-1994, se cosecharon anualmente sólo 17.7 millones de ha bajo temporal y bajo riego, con cultivos perennes y de ciclo corto, no obstante, que se disponía de una superficie de labor de casi 31 millones de ha. Esto se debió a que, aún sumando las superficies sembradas en ambos ciclos, primavera-verano (PV) y otoño-invierno (OI) de manera independiente, sólo se sembraron 64 ha de cada 100 ha de labor (ó 200 ha disponibles, ya que las 100 ha de labor se hubieran podido sembrar dos veces al año con cultivos de ciclo corto). Además, de cada 100 ha sembradas en ambos ciclos, sólo se cosecharon 90; el resto sufrió algún tipo de siniestro. La casi desaparición de los cultivos intercalados o asociados, cuyo valor de ERT es típicamente mayor a 1, ha desaparecido prácticamente del campo mexicano. Por tal es que el valor de ERT en la ecuación nacional de capacidad es de 1 para el período 1990-1994. El valor del IC de México (0.64) ha de compararse con él de Africa Subsahariana (0.55); América Latina y el Caribe (0.61); Cercano Oriente y Norte de Africa (0.83); Asia Oriental (1.05) y Asia Meridional (1.10) (FAO, 1993). Las dos regiones de Asia usan su tierra

⁵ El índice de cultivo se define como el número de veces que una superficie de labor dada es sembrada dentro del año agrícola con cultivos de ciclo corto. El valor del IC sería de 0, 1 ó de 2, respectivamente, si la tierra permaneciera ociosa, se sembrara una vez (por ejemplo en el ciclo P-V), o si se sembrara dos veces (ciclos O-I y P-V). El índice de no-siniestro (INS) es la fracción de la superficie sembrada que es cosechada; es decir, que no sufrió siniestro total.

de labor a casi el doble de la intensidad que lo hace México. La limitada disponibilidad de tierra de labor de México per capita, y su similitud a Asia en el futuro no lejano, sugiere que el IC de México habría de incrementarse para asegurar su abasto alimentario.

Al desagregar la ecuación del componente de capacidad de la tierra de labor según el régimen hídrico, se obtienen las siguientes expresiones para temporal y para riego:

Temporal:

$$12\ 264\ 685\ \text{ha} = 25\ 296\ 890\ \text{ha} \times 0.567637 \times 0.879190 \times 1.000 \quad (2)$$

Riego:

$$5\ 105\ 215\ \text{ha} = 5\ 648\ 972\ \text{ha} \times 0.954450 \times 0.946872 \times 1.000 \quad (3)$$

El IC y el INS de la tierra bajo riego superan en 70 % y 8 %, respectivamente, a sus homólogos de temporal. Pero ni siquiera bajo riego, alcanza el IC el valor de la unidad. Esto es a pesar de que, en una parte sustancial de las tierras bajo riego de la región noroeste del país (Sonora y Sinaloa), el IC asumió típicamente el valor de 2 en el periodo 1990-1994 (patrón trigo-soya), y que hay un poco más de un millón de ha bajo riego dedicadas a cultivos permanentes, por lo que su IC es igual a la unidad. Otra fracción de tierras de riego se siembra una sola vez al año con cultivos cíclicos, y tiene IC igual a la unidad. Por lo tanto, tendría que haber amplias superficies bajo riego que permanecieron baldías en ambos ciclos de cultivo, para compensar aquellas que se sembraron dos veces al año, y que el IC global bajo riego sea menor a la unidad. Esta ineficiencia en el aprovechamiento de la superficie de labor bajo riego, se explica en parte por (1) la escasez cíclica de lluvias en el norte del país que, a su vez, causa escasez de agua en las presas alimentadas; (2) la fracción de 10 % de la superficie bajo riego, que está severamente dañada por problemas de salinidad, una parte de la cual no se siembra; (3) reconocidas ineficiencias en la conducción y aplicación del agua de riego.

El IC de las tierras de temporal es demasiado bajo. El valor 0.57 implica lo equivalente a que, sólo se sembraran 14.4 millones de ha anualmente y se dejaran 11.1 millones de ha baldías durante el quinquenio 1990-1994. Como una fracción de las tierras sembradas se maneja, con dos cultivos al año en las regiones húmedas del país (IC igual a 2), la superficie dejada en barbecho anualmente habría de superar, en

esa medida, a los 11.1 millones de ha. Esto es una injustificable subutilización del recurso tierra. Según los censos de 1991, del total de 31.1 millones de ha en uso agrícola, 5.7 millones de ha no se sembraron en el año agrícola de 1991, por razones distintas a "el descanso"; las razones fueron la sequía, la falta de crédito o de otros apoyos, o porque el productor decidió no sembrarlas en ese año; y 3.8 millones de ha no se sembraron por estar en "descanso" (INEGI, 1994). En otro documento, el primer autor analiza las causas del bajo valor del IC de las tierras manejadas bajo temporal en México (Turrent, 1993).

Es útil separar a los cultivos de ciclo corto de los perennes para visualizar al IC y al INS, por la razón de que el IC es inflexiblemente de valor 1 para los cultivos perennes⁶ en tanto que para los cultivos de ciclo corto, el IC varía típicamente entre los valores de 0 y 2. Las Ecuaciones 4, 5 y 6 se refieren a los cultivos de ciclo corto en el periodo 1990-1994, ignorando el valor de la ERT.

Total, cultivos de ciclo corto

$$14\ 036\ 038\ \text{ha} = 26\ 670\ 152\ \text{ha} \times 0.580252 \times 0.906990 \quad (4)$$

Temporal, cultivos de ciclo corto

$$9\ 982\ 520\ \text{ha} = 22\ 201\ 894\ \text{ha} \times 0.507365 \times 0.886197 \quad (5)$$

Riego, cultivos de ciclo corto

$$4\ 053\ 518\ \text{ha} = 4\ 468\ 256\ \text{ha} \times 0.942414 \times 0.962615 \quad (6)$$

El IC bajo riego (Ecuación 6) sigue siendo inferior a la unidad en el caso de los cultivos de ciclo corto, y supera en 86 % a su IC homólogo bajo temporal. En el Cuadro 2 se muestra la evolución de la superficie de labor destinada a los cultivos de ciclo corto y los perennes, combinando información de los censos agrícola-ganadero y ejidal números IV y VII, información de la SARH (1988) sobre superficies bajo riego y los anuarios sobre estadísticas agropecuarias de la SAGAR. En vista de que los censos aportan información cada diez años y las estadísticas de la SAGAR cada año, fue necesario hacer ajustes

⁶ Formalmente, el IC valdría 0 ó 1, según si la unidad de superficie física estuviera baldía o plantada. En una superficie de labor destinada a cultivos perennes, el IC asumiría valores desde 0 hasta 1. En este ejercicio hemos de aceptar gratuitamente, que la superficie de labor del país plantada con cultivos perennes, tiene el IC de 1 y que el resto de la tierra de labor está dedicada a cultivos de ciclo corto.

Cuadro 2. Valores de la superficie de labor total y destinada a cultivos de ciclo corto en catorce años, en los Estados Unidos Mexicanos.

Año	Superficie de labor ¹					
	Todos los cultivos			Cultivos de ciclo corto ¹		
	Total	Riego	Temporal	Total	Riego	Temporal
	----- millones de ha -----					
1960	<u>23.817</u>	<u>3.408</u>	<u>20.409</u>	<u>17.688</u>		
1970	<u>23.138</u>	<u>3.583</u>	<u>19.555</u>	<u>21.288</u>	<u>3.404</u>	<u>14.283</u>
1979	23.175	5.171	18.004	19.651	4.182	15.469
1980	23.175	5.347	17.828	19.430	4.261	15.168
1981	23.175	5.524	17.651	19.356	4.365	14.992
1984	25.554	5.833	19.720	22.464	4.754	17.710
1985	26.347	5.900	20.447	22.338	4.746	18.592
1989	29.520	5.939	23.580	25.777	4.809	20.967
1990	30.312	5.778	24.534	26.539	4.617	21.917
1991	<u>31.104</u>	<u>5.617</u>	<u>25.488</u>	<u>27.165</u>	<u>4.397</u>	<u>22.769</u>
1992	31.104	5.617	25.488	26.554	4.503	22.102
1993	31.104	5.617	25.488	26.581	4.441	22.139
1994	31.104	5.617	25.488	26.516	4.434	22.083
1995	31.104	5.617	25.488	26.707	4.434	22.273

¹ Las cifras subrayadas fueron obtenidas de los censos V (1970), VI (1981) y VII (1991). Las superficies de labor (totales) fueron ajustadas como sigue: entre 1970 y 1975 se repitió la cifra de 1970, entre 1976 y 1981, se repitió la cifra de 1981; entre 1981 y 1991, se hizo un ajuste lineal y para 1992 a 1995 se repitió la cifra de 1991. La columna de superficie de labor bajo riego se basó en el dato del censo de 1970, y en información de la SARH (1988) según la que en 1982 y en 1988 había 5.7 y 6.1 millones de ha bajo riego, respectivamente. La superficie de labor bajo temporal se calculó como diferencia entre la superficie de labor total y la superficie de labor bajo riego.

¹ Las superficies de labor destinadas a los cultivos de ciclo corto: totales, de riego y de temporal, se calcularon restando las superficies destinadas a cultivos perennes, según los anuarios estadísticos de la producción agropecuaria de la SAGAR, de las superficies de labor totales, bajo riego y bajo temporal.

arbitrarios para expresar ambas fuentes de información a nivel anual. Estos ajustes se detallan al pie de página del mismo Cuadro 2.

En el Cuadro 3 se muestra la evolución de las superficies sembradas y cosechadas con cultivos de ciclo corto en los últimos catorce años de estadísticas disponibles en la SAGAR. La superficie cosechada es, en sí, la medida de capacidad del campo mexicano. Las superficies máximas cosechadas corresponden a los años 1981 y 1985. El mínimo relativo en la superficie cosechada corresponde al año agrícola 1992, en tanto que 1994 y 1995 muestran un tenue repunte.

Como es sabido, el año agrícola 1981 fue especial en cuanto al programa Sistema Alimentario Mexicano. En ese año, el sector público y los productores mexicanos realizaron esfuerzos extraordinarios para incrementar la producción de alimentos. Estos esfuerzos implicaron mayores intensidades tanto en el uso de la tierra, como en el empleo de tecnologías que incrementarían los rendimientos por unidad de superficie. Es también conocido que, en el período de 1991 a 1993, se realizó un radical ajuste a las políticas del sector público con respecto al campo, que buscaba abatir los subsidios y preparar el camino para la globalización del mercado (Calva, 1993). El año 1994

es el inicio del programa Procampo, que data del ciclo O-I de 1993-1994 (SAGAR, 1993). En 1995, se pierde valor real en la cuota de Procampo (producto de la devaluación de diciembre de 1994), si bien, el productor de maíz se vio beneficiado por el entorno de alza en el precio internacional del grano de maíz, durante 1995.

En el Cuadro 4 se presenta la evolución de los índices de cultivo (IC) y de no-siniestro (INS) de 180 cultivos de ciclo corto bajo riego y temporal en catorce años agrícolas del período 1960 a 1995. Estos índices integran la información de los Cuadros 2 y 3. El IC total alcanza un máximo relativo en el año agrícola 1981, decreciendo en adelante de manera progresiva, hasta alcanzar un mínimo relativo en 1993. En este período de decrecimiento de doce años, el IC del estrato de temporal decreció a la tasa anual de 4.9 %, en tanto que el IC total para los cultivos de ciclo corto decrecía a razón de 4 % anual. El INS total fluctúa entre los valores extremos de 0.7660 en 1970 y 0.9341 en 1990.

La información, contenida en los Cuadros 2 a 4, permite cotejar la hipótesis de que la producción de alimentos en el campo mexicano está afectada por factores de intensidad (rendimiento medio de todos los

Cuadro 3. Evolución durante catorce años, de las superficies sembradas y cosechadas con 180 cultivos de ciclo corto en los Estados Unidos Mexicanos.

Año	Superficie en 180 cultivos de ciclo corto					
	Sembrada			Cosechada		
	Total	Riego	Temporal	Total	Riego	Temporal
	----- millones de ha -----					
1960	12.473			10.375		
1970	13.828			10.592		
1979	14.545	4.273	10.272	11.814	4.112	7.703
1980	15.184	4.127	11.056	13.571	3.959	9.611
1981	17.074	4.338	12.736	15.110	4.144	10.967
1984	16.170	4.235	11.935	14.283	3.961	10.322
1985	17.163	4.486	12.677	15.494	4.296	11.198
1989	15.494	4.395	11.099	13.473	4.231	9.242
1990	15.952	4.060	11.892	14.900	3.936	10.964
1991	15.322	4.281	11.041	14.019	4.079	9.940
1992	15.012	4.210	10.802	13.294	3.975	9.319
1993	14.682	4.063	10.619	13.334	3.955	9.380
1994	16.409	4.441	11.969	14.632	4.323	10.309
1995	16.520	3.974	12.545	14.729	3.880	10.849
1980-1984	16.142	4.233	11.909	14.321	4.021	10.300
1990-1994	15.475	4.211	11.264	14.036	4.054	9.982

Fuente: SAGAR. 1979 a 1995. Anuarios estadísticos de la producción agrícola de los Estados Unidos Mexicanos. Centro de Estadística Agropecuaria. Secretaría de Agricultura, Ganadería y Desarrollo Rural. México, D.F.

cultivos) y de capacidad (superficie de labor, IC e INS). También, mediante la aplicación de instrumentos analíticos, se puede examinar la medida de la participación histórica reciente de aquellos factores, sobre la producción global de alimentos. Esta hipótesis queda expresada formalmente, en la Ecuación 7:

$$P = R \times L \times (IC) \times (INS) \quad (7)$$

En esta ecuación, P representa la producción nacional anual de los 180 cultivos de ciclo corto, R es el rendimiento medio nacional anual de esos cultivos, L es la superficie de labor destinada a los mismos cultivos, IC es el índice de cultivo, e INS es el índice de no-siniestro. R representa el componente de intensidad y L, IC e INS representan los componentes de capacidad, que se integran en la superficie anual cosechada de los 180 cultivos de ciclo corto.

El factor rendimiento refleja a la interacción de la tecnología empleada por los productores (incluyendo el uso de agua de riego), con las calidades del clima y del suelo. Las políticas del estado mexicano que persiguen el fomento de la producción, así como las decisiones de los productores en el ámbito de sus opciones tecnológicas, encuentran reflejo en ese factor rendimiento. Pero también, las políticas del estado, las decisiones de los productores y la calidad del clima y del suelo, se

reflejan en la disponibilidad de tierras de labor, en el IC y en el INS. Este es un ángulo adicional de la producción de alimentos, que ha perdido pertinencia en los programas de fomento, desde finales de la década de los años 70, cuando se detuvo formalmente la estrategia denominada de **frontera agrícola**. Es la intención de los autores aportar evidencias de que, el efecto de esa estrategia continúa y que puede ser aprovechada para incrementar la producción de alimentos, si bien, la disponibilidad de tierra de labor no habrá de incrementarse en el futuro cercano, el IC y el INS sí pueden ser incrementados.

Aprovecharemos la información de los Cuadros 2 a 4, para realizar el ejercicio empírico de evaluar los efectos de los factores de intensidad (rendimiento) y de capacidad (superficie de labor, IC, INS) del campo mexicano, sobre la producción global de 17 cultivos clave para la alimentación en México⁷. Limitaremos el ejercicio a la expresión agregada de esos cultivos: año agrícola y a la suma de riego y temporal. Es decir, que partiremos de un cuadro de doble entrada con

⁷ Los 17 cultivos incluyen a seis cereales (maíz, trigo, arroz, sorgo, avena y cebada), a siete leguminosas comestibles (frijol, soya, lenteja, garbanzo blanco, cacahuete, haba y arvejo), y a cuatro oleaginosas (cártamo, ajonjolí, semilla de algodón y girasol).

Cuadro 4. Catorce años de evolución de los índices de cultivo (IC) y de no-siniestro (INS) para 180 cultivos de ciclo corto bajo riego y temporal, en los Estados Unidos Mexicanos.

Año	Índices de cultivo			Índices de no-siniestro		
	Temporal	Riego	Total	Temporal	Riego	Total
1960 [†]			0.5542			0.8318
1970 [†]			0.7818			0.7660
1979	0.6640	1.0218	0.7402	0.7498	0.9622	0.8122
1980	0.7289	0.9685	0.7815	0.8693	0.9593	0.8938
1981	0.8495 [‡]	0.9939	0.8821 [‡]	0.8611	0.9552	0.8798
1984	0.6739	0.8908	0.7198	0.8649	0.9354	0.8833
1985	0.6818	0.9454	0.7354	0.8833	0.9576	0.9027
1989	0.5294	0.9138	0.6011	0.8327	0.9628	0.8697
1990	0.5426	0.8794	0.6011	0.9220	0.9695	0.9341
1991	0.4849	0.9737	0.5640	0.9004	0.9528	0.9150
1992	0.4887	0.9455	0.5653	0.8628	0.9441	0.8856
1993	0.4797	0.9148	0.5524	0.8833	0.9733	0.9082
1994	0.5420	1.0016	0.6188	0.8613	0.9735	0.8917
1995	0.5633	0.8963	0.6186	0.8648	0.9763	0.8916

[†] Según información de los IV y V Censos Agrícolas-Ganaderos y Ejidales.

[‡] En la información sobre superficies bajo cultivos perennes de temporal y total de 1981, parece haber un error que resalta respecto a los años anteriores y posteriores. Los autores usaron arbitrariamente, las cifras homólogas de 1980, a manera de corrección. Si se usa la superficie en cultivos perennes de 1981 según aparece en el anuario estadístico de la SAGAR, los IC calculados serían de 0.9934 para temporal, 0.9939 para riego y 0.9970 como total.

Fuente: SAGAR, 1979 a 1995. Anuarios Estadísticos de la Producción Agrícola de los Estados Unidos Mexicanos. Centro de Estadística Agropecuaria. Secretaría de Agricultura, Ganadería y Desarrollo Rural. México, D.F.

Cálculos de los autores. Se supuso para los cálculos que la diferencia entre la superficie de labor y la superficie plantada con cultivos perennes habría de corresponder a la de los cultivos cíclicos.

14 hileras (14 años) y cinco columnas: (1) producción anual de 17 cultivos; (2) rendimiento combinado medio anual; (3) superficie de labor destinada a todos los cultivos de ciclo corto; (4) IC para la tierra de labor dedicada a los 180 cultivos de ciclo corto⁸; y (5) INS para todos los cultivos de ciclo corto. Esta información se resume en el Cuadro 5.

En este ejercicio, la producción anual será la variable dependiente y R (rendimiento), L (superficie de labor dedicada a cultivos de ciclo corto), IC (índice de cultivo) e INS (índice de no-siniestro), las variables independientes. Es necesario acotar algunas características de este ejercicio. Se refiere solamente a aquellos cultivos de ciclo corto, importantes para la alimentación en México, de los que se cosecha grano. La razón de esta segregación de cultivos obedece a evitar mezclar materia seca de grano con la de partes vegetativas y de frutos de los demás cultivos. Empero, la superficie cosechada con los 17 cultivos seleccionados representó 91.3 % de la superficie total cosechada con los 180 cultivos de ciclo corto, en el período de estudio. En el Cuadro 5 se presenta

información sobre la producción nacional anual y el rendimiento medio nacional anual del grupo de 17 cultivos de ciclo corto. En cambio, la información sobre capacidad: L (superficie de labor), IC e INS, se refiere a los 180 cultivos de ciclo corto, incluidos en el catálogo del Centro de Estadística Agropecuaria de la SAGAR.

En una primera ruta de cálculo, a la que nos referimos como el método directo (MD), habremos de estimar las superficies sembradas y cosechadas de los 17 cultivos, a partir de L, IC, INS (todas estas variables en relación a 180 cultivos de ciclo corto) y de la fracción que la superficie cosechada con esos 17 cultivos, representa de la superficie cosechada con los 180 cultivos de ciclo corto. La información sobre esa fracción (F) se muestra también en el Cuadro 5. La expresión para este segundo camino deriva de la Ecuación 7.

$$P = R \times L \times (IC) \times (INS) \times F \quad (7a)$$

En este método directo (MD), se estima la superficie cosechada con 17 cultivos de ciclo corto, a partir del producto de L, IC, INS y F. El producto de la superficie cosechada por el rendimiento medio

⁸ El IC es una característica del manejo de la tierra de labor y no del cultivo. Por lo tanto, no es válido, excepto arbitrariamente, asociar un IC a 17 cultivos de ciclo corto.

Cuadro 5. Producción y rendimiento combinado de 17 cultivos alimenticios de ciclo corto, superficie de labor e índices de cultivo y de no-siniestro asociados a 180 cultivos de ciclo corto en los Estados Unidos Mexicanos, en el período 1960 a 1995.

Año	17 cultivos de ciclo corto [†]			180 cultivos de ciclo corto				
	Observada	Producción		Rendimiento	Superficie de labor	IC [§]	INS	Fracción [¶]
		Calculada [‡]						
		E9	MD	t ha ⁻¹	millones de ha			
	- - - - -	millones de ton	- - - - -					
1960	9.590	9.367	7.540	0.988	17.688	0.5542	0.8318	0.936
1970	17.791	17.928	16.116	1.397	21.288	0.7817	0.7660	0.905
1979	19.198	19.583	19.192	1.795	19.651	0.7402	0.8122	0.905
1980	24.119	24.729	24.122	1.934	19.430	0.7815	0.8938	0.919
1981	28.740	28.179	28.584	2.033	19.356	0.8821	0.8798	0.936
1984	26.672	26.868	26.669	2.034	22.464	0.7198	0.8833	0.918
1985	30.326	28.883	29.023	2.109	22.338	0.7354	0.9027	0.928
1989	23.941	24.674	23.937	1.965	25.777	0.6011	0.8697	0.904
1990	28.469	29.392	28.469	2.088	26.539	0.6011	0.9341	0.915
1991	26.754	27.436	26.765	2.105	27.165	0.5640	0.9150	0.907
1992	28.553	27.590	28.559	2.403	26.554	0.5653	0.8856	0.894
1993	27.359	27.172	27.351	2.284	26.581	0.5524	0.9082	0.898
1994	29.290	29.001	29.284	2.185	26.516	0.6188	0.8917	0.916
1995	29.340	29.208	29.339	2.184	26.707	0.6186	0.8916	0.912

[†] Incluye (a) seis cereales: maíz, trigo, arroz, sorgo, avena y cebada; (b) siete leguminosas comestibles: frijol, soya, lenteja, garbanzo blanco, cacahuete, arvejon y haba; (c) cuatro oleaginosas: ajonjolí, semilla de algodón, cártamo y girasol.

[‡] La producción calculada E9 corresponde a la Ecuación de regresión 9, y la calculada MD al método directo; ambos serán explicados más adelante.

[§] IC es índice de cultivo; INS es índice de no-siniestro.

[¶] Fracción de la superficie cosechada con 180 cultivos de ciclo corto, equivalente a la superficie ocupada por los 17 cultivos.

Fuente: SAGAR. Anuarios Estadísticos de la Producción Agrícola de los Estados Unidos Mexicanos. Centro de Estadística Agropecuaria. SAGAR. México, D.F.

nacional es la producción anual de los 17 cultivos de ciclo corto.

En una ruta alterna al método directo, ajustaremos una ecuación de regresión entre la variable dependiente P y las independientes. Las variables independientes L, IC e INS son variables proxy de sus homólogas para los 17 cultivos de grano seleccionados. Por lo tanto, en una ecuación homóloga de la Ecuación 7 las variables independientes habrían de ser afectadas por exponentes diferentes a la unidad. La expresión es como sigue:

$$P = R^a \times L^b \times (IC)^c \times (INS)^d \quad (8)$$

Para el ajuste de regresión de la Expresión 8, es deseable la ortogonalidad entre las variables independientes. En el Cuadro 6 se presentan las correlaciones entre las cinco variables involucradas. Hay varias correlaciones altamente significativas entre las variables independientes. La variable R se correlaciona positivamente con L y con INS. El IC correlaciona negativamente con la superficie de labor. La variable R es independiente de IC, al no ser su coeficiente de correlación significativamente diferente de cero. La dependencia mutua entre las variables independientes o quasi-multicolinealidad dificulta el ajuste de regresión

múltiple entre la variable dependiente P y las variables independientes, por el Método de los Cuadrados Mínimos.

Es útil detenemos a considerar la independencia entre las variables rendimiento (R) e índice de cultivo (IC) observada ($r = -0.13374$, no significativo, Cuadro 6). Si la desintensificación del uso de la tierra (decrecimiento del IC observado en el período 1984 a 1993) se diera sólo por el camino de dejar baldía la tierra de menor calidad agrícola, la correlación entre R e IC habría de ser negativa y significativa, aún en la ausencia de cambio tecnológico. Que tal habría sido el sentido de los cambios impulsados en el sexenio de Salinas de Gortari, que culminaron en 1993, con el mínimo valor del IC en 35 años. En el Cuadro 5 se aprecia que sí existe, en el período 1989-1993, la tendencia a una correlación negativa entre R e IC. Sin embargo, en el período 1960-1981 se aprecia el incremento de ambos, R e IC, es decir, una correlación positiva. De no existir correlación entre R e IC, entonces la tipología de las tierras baldías del período habría de incluir al perfil completo de calidades agrícolas de tierras de labor. Por desgracia, no se han realizado suficientes estudios al nivel nacional sobre la tipología de las tierras baldías, que permitieran cotejar

Cuadro 6. Matriz de correlaciones entre las variables producción, rendimiento, superficie de labor, índices de cultivo y de no-siniestro.

Variable	Coeficientes de correlación entre				
	Producción P	Rendimiento R	Superficie de labor L	Índice de cultivo IC	Índice de no-siniestro INS
P	1.0000	0.93941 (0.0001) [†]	0.63977 (0.0137)	0.03177 (0.9141)	0.74738 (0.0021)
R		1.0000	0.71063 (0.0044)	-0.13374 (0.6485)	0.72508 (0.0033)
L			1.0000	-0.64411 (0.0129)	0.57423 (0.0137)
IC				1.0000	-0.34047 (0.2336)

[†] Entre paréntesis el nivel de probabilidad del coeficiente de correlación. Un valor entre 0.05 y 0.01 implicaría significancia al 5 %. Si inferior a 0.01, sería significativo al 1 %.

la hipótesis de la independencia entre las tierras baldías y su calidad agrícola.

Es menester expresar a las variables independientes de la Ecuación 8 en su forma logarítmica, para realizar el ejercicio de regresión, quedando la expresión como sigue:

$$\text{Log } P = a \times \text{Log } R + b \times \text{Log } L + c \times \text{Log } (\text{IC}) + d \times \text{Log } (\text{INS})$$

En poco cambia la matriz de intercorrelaciones entre las variables independientes, después de expresarlas en su forma logarítmica base 10. Por lo tanto, el problema de quasi-multicolinealidad se sostiene. La teoría establece que, en presencia de este fenómeno, los coeficientes de regresión son inestables: su varianza crece con el grado de quasi-multicolinealidad, y las predicciones de la variable dependiente P, fuera de lo estrictamente explorado, son poco confiables. La ecuación de regresión ajustada por el método de los Cuadrados Mínimos es la Ecuación 9, después de hacer los cambios necesarios de variables y de expresar a P explícitamente:

$$P = R^{0.583666} \times L^{1.097338} \times (\text{IC})^{1.068858} \times (\text{INS})^{1.506052} \quad (9)$$

Las estadísticas de esta ecuación, en su expresión logarítmica, son: coeficiente de determinación = 99.99 %; el error tiene 10 grados de libertad y un cuadrado medio = 0.00016075; F total = 41964; F parciales: 83, (probabilidad de 0.0001) para la variable Log R; 1386, (probabilidad de 0.0001), para la variable Log L; 224, (probabilidad de 0.0001) para la variable Log (IC); 36, (probabilidad de 0.0001) para Log (INS). Los valores calculados o predichos de P

según la Ecuación 9 (E9) y según el método directo (MD), se muestran en el Cuadro 5.

La quasi-multicolinealidad que afecta la Ecuación 9 implica, que el hiperespacio de exploración de las variables independientes, aparentemente definido por sus valores extremos, tiene regiones no exploradas⁹. Para formarnos una opinión sobre la insuficiencia en la exploración de ese hiperespacio, conviene ajustar regresiones entre las variables independientes, de manera sucesiva. Así, las variables independientes Log L, Log (IC) y Log (INS) explican 84.5 % de la variación de la variable independiente Log R. Las dependencias mutuas de las demás variables independientes son 84.1 % para Log L, 74.5 % para Log (IC), y 62.9 % para Log (INS). Sólo a partir de la variación residual no asociada a las demás variables independientes, se explora el hiperespacio. Tal variación desasociada de las demás variables independientes es de 15.5 % para Log R, 15.9 % para Log L, 25.5 % para Log (IC) y 37.1 % para Log (INS). En otras palabras, sólo una pequeña fracción del hiperespacio de exploración es realmente explorado. Esta fracción explorada, o hiperespacio efectivo de exploración, es del orden de magnitud de

⁹ A partir del Cuadro 5 se define que el hiperespacio o hipercubo de exploración tiene por lados 1.415 t ha⁻¹ X 9.477 millones de ha X 0.3297 X 0.1681. El primer lado del hiperespacio de exploración corresponde a la diferencia entre ambos extremos observados del rendimiento medio de los 17 cultivos, según el Cuadro 5. Así sucesivamente, para L, IC e INS el volumen del hiperespacio o hipercubo de exploración es de 0.743214 (t ha⁻¹) (millones de ha).

0.23 % del hiperespacio total de exploración¹⁰. Por esto es, que la aplicación de la ecuación para fines predictivos, no habría de alejarse mucho de los puntos observados.

La limitación predictiva de la Ecuación 9 no es tal para el método directo (MD) de calcular P. Esto es así porque la Ecuación 7a, base del MD, es independiente de la serie particular de tiempo observada. Sin embargo, el método directo tiene la restricción de que los valores de F (**superficie cosechada de los 17 cultivos seleccionados, expresada como fracción de la superficie cosechada con 180 cultivos de ciclo corto**) sólo están disponibles para los 14 años de observación; es decir, para las combinaciones específicas observadas de R, L, IC e INS. Para disponer del valor de F de alguna combinación no observada de R, L, IC e INS, será necesario algún supuesto, cuyo realismo comprometerá la precisión y sesgo de P calculada por el MD.

En el Cuadro 5 se muestran los valores de P (producción nacional anual de 17 cultivos de ciclo corto) observados y calculados, estos últimos según la Ecuación 9 y según el método directo. Esta serie tiene 14 años de observación, en el período 1960 a 1995. Esta serie de tiempo de P observada muestra máximos relativos en los años 1981, 1985, 1990, 1992 y 1995, y mínimos relativos en 1984, 1989, 1991 y 1993. Como se aprecia en el mismo Cuadro 5, las series de tiempo de P, calculadas según la Ecuación 9 y según el método directo, reproducen exactamente los máximos y mínimos relativos de la serie de tiempo de P observada. Esta característica de ambos métodos de cálculo más las estadísticas de la Ecuación 9 atrás citadas, refuerzan su validez de aquellos métodos, como herramienta analítica que, además, son independientes entre sí.

Nos interesa evaluar la medida de las contribuciones de los factores de intensidad (rendimiento), y de capacidad (superficie de labor, índice de cultivo e índice de no-siniestro), sobre la producción nacional de los 17 cultivos de ciclo corto examinados. Ambos métodos de cálculo, el que usa a la Ecuación 9 y el método directo, parecieran ser herramientas analíticas adecuadas dentro de las restricciones atrás enlistadas. Una forma de

aprovechar estas herramientas analíticas es: (1) calcular los valores de P para un hiperespacio arbitrario, según un arreglo factorial 2^4 (dos niveles de cuatro factores: R, L, IC e INS); y (2) calcular los $2^4 - 1$ efectos factoriales (Kempthorne, 1952). En este caso, cada uno de los cuatro factores asume un valor bajo y uno alto. Los quince efectos factoriales son: los Efectos Principales¹¹ de R, de L, de IC y de INS, más las interacciones de dos en dos factores, de tres en tres y una interacción de cuatro factores. Tal, es una manera de desplegar los efectos de las variables independientes. El cruzamiento de esos quince efectos factoriales, según la teoría desarrollada por Kempthorne (1952), produce un valor calculado para cada una de las 2^4 o 16 combinaciones factoriales, de dos niveles y de cuatro variables independientes. Este procedimiento puede emplearse dentro de la serie de tiempo de P (producción nacional de los 17 cultivos seleccionados), para comparar entre sí, a los dos años que delimitan a un período de interés, o hiperespacio de predicción. A esos dos años, corresponden los valores observados de P y de los factores R, L, IC e INS. El efecto principal de cualquiera de los cuatro factores será positivo o negativo, si es que el factor muestra repunte o contracción entre ambos años en comparación. Las interacciones de dos, tres o de los cuatro factores, asumirán los signos correspondientes.

Como se menciona previamente, las políticas oficiales de fomento a la producción han cambiado sustancialmente durante el período de análisis (1960 a 1995). Es interesante, por ejemplo, aplicar el recurso analítico que se ha desarrollado para examinar al período 1985 a 1992. En el Cuadro 5, se aprecia que en este período: (1) el rendimiento medio nacional de los 17 cultivos aumentó desde 2.109 hasta 2.403 t ha⁻¹ (equivalente a 13.9 % de incremento total); (2) hubo repunte de 18.9 % en la superficie de labor dedicada a los cultivos de ciclo corto; (3) hubo un abatimiento de 23.2 % en el índice de cultivo; (4) hubo un abatimiento de 2 % en el índice de no-siniestro; y (5) la producción observada se redujo en 5.8 % en el mismo período: la dirección del cambio en la producción nacional anual es opuesta a la dirección del cambio en el rendimiento medio nacional.

¹⁰ 0.23 % es la expresión en porcentaje, del producto de las fracciones 0.155 X 0.159 X 0.255 X 0.371. Esta fracción corresponde a 0.00173318 (t ha⁻¹) (millones de ha).

¹¹ El efecto principal de uno de los cuatro factores se define como el efecto sobre la variable dependiente P (valor de P calculado para el valor alto menos el correspondiente al valor bajo del factor en cuestión), en promedio para los valores alto y bajo de los tres factores restantes.

Un segundo período que merece análisis, es el de 1992-1995. En este lapso, el rendimiento medio se contrajo en 9.1 %, la superficie de labor se mantuvo casi constante, el IC repuntó en 9.4 % y el INS repuntó en 2 %; la producción nacional repuntó en 2.8 %. Por razones diferentes, es también interesante analizar al período 1960-1981. En este lapso, el rendimiento medio nacional de los 17 cultivos repuntó 106 %, la superficie de labor repuntó 9.4 %, el IC se incrementó en 59.2 %, y el INS aumentó en 5.8 %. La producción nacional de los 17 cultivos aumentó en casi 200 %. Finalmente, el período total de 1960-1995 es interesante porque muestra el incremento de 121 % en el rendimiento medio nacional, el repunte de 51 % en la superficie de labor dedicada a cultivos de ciclo corto, el repunte de 11.6 % en el IC, mientras que el INS se mantuvo casi constante. La producción nacional aumentó en 206 %. La aplicación de la Ecuación 9 y del método directo como herramientas analíticas, a los cuatro hiperespacios de predicción recién mencionados, habrá de verse con las limitaciones de aquellos métodos, ya descritas. Puede verificarse, que los cuatro hiperespacios de predicción son de magnitudes equivalentes a: (1) 0.63 % del hiperespacio efectivo de exploración (HEE) en el período 1992-1995; (2) 208 % para el período 1985-1992; (3) 1601 % para el período 1960-1981; y (4) 2397 % para el período 1960-1995. En el mismo orden se ubica la confiabilidad predictiva, de mayor a menor, del método de cálculo basado en la Ecuación 9.

En el Cuadro 7 se despliegan los efectos factoriales de los cuatro factores de la producción nacional para cuatro períodos de interés, según dos métodos de cálculo. En todos los casos hay coincidencia en el signo de los efectos factoriales calculados por ambos métodos, aunque sí hay discrepancias de orden cuantitativo. Al compararse con el MD, el método de la Ecuación 9 subestima al valor absoluto del efecto principal de R, en los cuatro períodos. En cambio, los valores absolutos de los efectos principales de L, IC e INS, son sobreestimados por el método de la Ecuación 9, en comparación con el MD.

En cambio en valores de R, L, IC y de INS en el período de 1985-1992, se asocia con un efecto principal de R igual a 2.180 millones de toneladas anuales de incremento sobre la producción nacional, según el método Ec9, ó de 3.814 según MD. A este efecto principal hay que sumar el efecto principal de L por un monto de 5.417 millones de toneladas anuales

(método Ec9, o bien 5.048 según MD). Como se aprecia en el Cuadro 5, R aumentó de 2.109 a 2.403 t ha⁻¹ mientras L aumentó de 22.338 a 26.554 millones de ha de labor en el período. Sin embargo, la suma de los efectos principales R y L es casi anulada por el efecto principal depresivo igual a -7.999 millones de toneladas anuales (método Ec9 ó bien -7.656 según MD), asociado al derrumbe del IC. Este último factor decreció de 0.7354 a 0.5653. Además, el INS también decreció causando un efecto principal depresivo de -0.825 (según Ec9), o -0.560 (según MD) millones de toneladas anuales. Las interacciones de dos, tres y cuatro factores explican el resto del efecto total de la reducción en la producción anual de 1992 respecto a 1985 (Cuadro 5).

Entre los años 1992 y 1995, hay un repunte observado (Cuadro 5) de casi 0.8 millones de toneladas anuales en la producción nacional de los 17 cultivos. Este repunte ocurre mientras el rendimiento medio nacional se abate de 2.403 t ha⁻¹ a 2.184, L casi permanece constante, IC repunta de 0.5653 a 0.6186 e INS repunta de 0.894 a 0.912. En el Cuadro 7, se muestran los efectos factoriales asociados a esos cambios: el efecto positivo de IC corrigió, con exceso, al efecto depresivo de la reducción en el rendimiento, según el método Ec9, o casi lo corrigió según MD.

Entre 1960 y 1981, la producción nacional anual de 17 cultivos de ciclo corto aumento de 9.590 a 28.740 millones de toneladas (Cuadro 5). Este vasto incremento se asoció con notables incrementos en R e IC y con moderados aumentos en L e INS. En el Cuadro 7 se aprecia que R e IC fueron los motores que impulsaron el incremento en la producción nacional, con casi la misma magnitud. Aunque los factores L e INS también contribuyeron al incremento de P, sus efectos son menores.

En el período 1960 a 1995, hay un incremento notable en cuanto a la producción nacional. En el Cuadro 7 se muestran los efectos factoriales de los cuatro factores, según los métodos de cálculo Ec9 y MD. Estos métodos de cálculo predicen que, de haberse sostenido el IC en el valor alcanzado en 1981, mientras los factores R y L se incrementaban, la producción nacional de 1995 hubiera sido notablemente superior. Las estimaciones según los métodos Ec9 y MD son 42.7 y 41.8 millones de toneladas anuales para 1995, respectivamente, en contraste con las 29.3 millones de toneladas observadas. Habremos de retomar este conocimiento como hipótesis para

Cuadro 7. Efectos factoriales del rendimiento medio, de la superficie de labor, del índice de cultivo y del índice de no-siniestro, sobre la producción nacional de 17 cultivos de ciclo corto, según dos métodos de cálculo, en cuatro periodos arbitrarios de la serie 1960 a 1995.

Efectos factoriales [†]	Periodos arbitrarios seleccionados y métodos de cálculo							
	1985 a 1992 [‡]		1992 a 1995		1960 a 1981		1960 a 1995	
	Ec9	MD	Ec9	MD	Ec9	MD	Ec9	MD
Media	28.635	29.271	28.432	29.322	17.160	16.094	17.478	16.237
R	2.180	3.814	-1.585	-2.800	7.122	11.134	7.951	12.244
L	5.417	5.048	0.180	0.168	1.695	1.449	7.771	6.597
IC	-7.999	-7.656	2.736	2.640	8.354	7.348	2.051	1.783
INS	-0.825	-0.560	0.289	0.198	1.449	0.903	1.823	1.125
R*L	0.206	0.328	-0.005	-0.008	0.352	0.501	1.767	2.488
R*IC	-0.304	-0.500	-0.076	-0.126	1.734	2.542	0.466	0.672
R*INS	-0.031	-0.036	-0.008	-0.009	0.301	0.312	0.414	0.424
L*IC	-0.756	-0.660	0.009	0.008	0.413	0.331	0.456	0.362
L*INS	-0.078	-0.048	0.001	0.001	0.072	0.041	0.405	0.229
IC*INS	0.115	0.073	0.014	0.009	0.353	0.206	0.107	0.062
R*L*IC	-0.029	-0.043	0	0	0.086	0.114	0.104	0.137
R*L*INS	-0.003	-0.003	0	0	0.015	0.014	0.092	0.086
R*IC*INS	0.004	0.005	0	0	0.073	0.071	0.024	0.023
L*IC*INS	0.011	0.006	0	0	0.017	0.009	0.024	0.013
R*L*IC*INS	0	0	0	0	0.004	0.003	0.006	0.005

[†] Media es en relación a 16 valores de P calculados según los métodos de la Ecuación 9 y el método directo. R es el efecto principal del factor rendimiento sobre la producción nacional de los 17 cultivos; L es el efecto principal de la superficie de labor; IC es el efecto principal del índice de cultivo; e INS el efecto principal del índice de no-siniestro. R*L es la interacción de R y L; R*L*IC es la interacción de tres factores y así sucesivamente.

[‡] Los efectos factoriales fueron calculados según Ec9 o Ecuación de regresión 9 del texto, y según el método directo (MD). Se usaron ambos valores extremos de R, L, IC e INS de los años que definen a cada período, donde lo correspondiente al menor año del período fue invariablemente considerado como el valor bajo, aun cuando algún factor en particular asumiera su valor alto en ese año. Se calcularon los valores P para las 16 combinaciones factoriales de dos niveles de cuatro factores, y a partir de tales valores calculados de P, se calcularon los efectos factoriales según el Método Automático de Yates (Cochran and Cox, 1964). En el caso de MD, se asignó el valor medio observado de F para ambos años que delimitaron a un período, como valor de F para el cálculo de los 16 valores de P. Los valores de P, R, L, IC y de INS de cada período aparecen en el Cuadro 5.

incrementar la producción de alimentos, más adelante en este ensayo.

La predicción de este ejercicio, se aleja de la noción de que el rendimiento medio nacional es el factor central del cambio en la producción nacional de alimentos. Aparentemente, los factores de capacidad del campo (superficie dedicada a los cultivos de ciclo corto, índice de cultivo e índice de no-siniestro), también han gravitado sobre los cambios en la producción de 17 cultivos alimenticios de ciclo corto, en los últimos 35 años. Las discrepancias de tipo cuantitativo en cuanto a los efectos factoriales, según los métodos aplicados, no parecerían descalificar la participación de aquellos factores sobre la producción nacional de 17 cultivos seleccionados.

Como se explica previamente, los métodos de cálculo de la variable P empleados en este ejercicio, reproducen de manera perfecta a los cinco máximos relativos y cuatro mínimos relativos observados en la serie de tiempo de P de 14 observaciones. Al analizar de la misma manera las funciones de las cuatro variables independientes, se aprecia que ninguna de éstas, por sí sola, reproduce la variación de máximos y

mínimos recién descrita para la función de la producción nacional. En cambio, la evolución conjunta de las cuatro variables, según se capta con la Ecuación empírica 9 y el método directo, si reproducen exactamente a aquellos máximos y mínimos.

Las pruebas hasta aquí presentadas, no refutan la hipótesis de que la evolución histórica reciente en la producción nacional de los 17 granos más importantes en la alimentación de México, ha dependido del rendimiento medio nacional, de la superficie de labor dedicada a los cultivos de ciclo corto, del índice de cultivo y del índice de no-siniestro; es decir, de los componentes de intensidad y de capacidad.

UN EJERCICIO DE PREDICCIÓN

La demanda nacional presente y futura de los 17 granos alimenticios atrás tratados, asume los valores de 30 millones de toneladas anuales para 93 millones de habitantes, de 48 millones de toneladas para 150 millones de habitantes y de 65 millones de toneladas para 200 millones de habitantes, suponiendo lo necesario. En el Cuadro 8 se muestran varias

Cuadro 8. Proyecciones de la producción global de 17 granos alimenticios en función del Rendimiento medio, la Superficie de Labor Total, el Índice de Cultivo y el Índice de No-Siniestro.

Número	Producción nacional millones de ton	Rendimiento prom. t ha ⁻¹	Superficie de labor [†] millones de ha	Índice de cultivo	Índice de no-siniestro
1	29.34	2.184	26.707	0.619	0.892
2	42.70	2.184	26.707	0.882	0.892
3	46.98	2.403	26.707	0.882	0.892
4	48.83	2.184	26.707	1.000	0.892
5	53.86	2.184	33.000	0.882	0.892
6	56.95	2.403	33.000	0.882	0.892
7	65.13	2.403	33.000	1.000	0.892
8	75.14	3.000	33.000	1.000	0.892

[†] Superficie nacional de labor dedicada a cultivos de ciclo corto.

proyecciones de producción de los 17 granos alimenticios correspondientes a varias combinaciones de los factores Rendimiento, Superficie de Labor, Índice de Cultivo e Índice de no-siniestro, derivadas de la Ecuación 9.

La primera hilera del Cuadro 8 representa la situación observada en 1995. La hilera 3 muestra la estimación de la producción nacional de 17 granos alimenticios si hubieran coincidido en 1995, los valores máximos históricos del Índice de Cultivo (IC) (año 1981) y del Rendimiento (R) (año 1992). En la hilera 4 se sugiere que si el IC se incrementara hasta el valor de 1 sin cambiarse los valores R, L e INS que se observaron en 1995, se producirían 48 toneladas anuales de los 17 granos alimenticios. Con tal producción se lograría la autosuficiencia alimentaria de un México de 150 millones de habitantes. En la hilera 7 se hace la suposición de que 6.3 millones de hectáreas de la reserva nacional de tierras de labor son destinadas a cultivos de ciclo corto, mientras la variable INS se mantiene en su valor de 1995, R alcanza el valor observado en 1992 e IC se incrementa hasta la unidad. La producción asociada de 65 millones permitiría la autosuficiencia para una población de 200 millones de habitantes.

Las predicciones del Cuadro 8 son extrapolaciones empíricas que se apoyan en series cortas de tiempo que muestran problemas de quasi-multicolinealidad. Esto resta credibilidad a las predicciones. Sin embargo, es rescatable el valor de las variables de capacidad así como de intensidad, como factores complementarios de la producción de alimentos. Después de todo, esas variables han mostrado un valor predictivo razonable en el pasado reciente.

En otra ponencia, el primer autor de este artículo revisa acciones conducentes a incrementar el índice de

cultivo en el país (Turrent, 1993). Se sugiere que es posible en un plazo mediano, alcanzar el valor unitario en el IC nacional y hasta rebasarlo en el plazo largo. En el Cuadro 9 se muestra a manera de hipótesis, valores del IC alcanzables a mediano y largo plazos. Según el autor recién citado, se puede incrementar el IC bajo temporal por las acciones complementarias de (a) aumentar la fracción de tierras de labor sembradas en el ciclo Primavera-Verano en las Provincias Agronómicas (PA) de Mediana Productividad, de baja Productividad y de tierras marginales; y (b) aumentar la fracción de tierras sembradas con un segundo cultivo (ciclo Otoño-Invierno) en las PA de Muy Buena y de Buena Productividad. Propone cinco acciones en relación a las siembras del ciclo P-V: (1) integrar flexibilidad a las unidades de producción actualmente basadas en los cultivos de maíz y de frijol; (2) el cultivo de cereales de grano pequeño como

Cuadro 9. Índices de cultivo actuales, intermedios y altos en relación a seis Provincias Agronómicas de la Tierra de Labor en México.

Provincia Agronómica	Superficie ha	Índices de cultivo		
		Actuales	Intermedios	Altos
Riego	5 616 757	0.954	1.20	1.30
Temporal	25 487 694	0.569	0.96	1.06
- MBP [†]	5 101 872	(0.75)	1.10	1.20
- BP	3 294 794	(1.00)	1.20	1.40
- MP	8 688 183	(0.55)	1.00	1.05
- bP	4 617 861	(0.40)	0.80	0.90
- tm	3 784 984	(0.20)	0.70	0.80
Total nacional	31 104 451	0.638	1.00	1.10

[†] MBP= Muy buena productividad; BP = Buena productividad; MP = Mediana productividad; bP = baja productividad; tm = tierras marginales. Los IC de riego, de temporal y del total nacional actuales, son valores observados; los valores entre paréntesis son una solución numérica.

forrajes; (3) el desarrollo de variedades precoces de trigo harinero; (4) desarrollo de variedades precoces de canola y de otras leguminosas; y (5) el desarrollo de variedades precoces de cebada y avena de grano desnudo. Por cuanto a los segundos cultivos en tierras de Muy Buena y de Buena Productividad, el mismo autor señala que existe tecnología tradicional que requiere ser aprovechada y también mejorada.

En los últimos años, investigadores de INIFAP conducen un proyecto cuyo objetivo es desarrollar la tecnología para producir maíz y otros cultivos de riego, como segundo cultivo en el ciclo Otoño-Invierno, en una amplia región del sur-sureste del país. Esta región tiene las dos terceras partes del recurso agua dulce del país. Se aspira a que la tecnología para maíz permita producir 10 t ha^{-1} , en una superficie del orden de un millón de hectáreas. Estas tierras son ya sembradas durante el ciclo Primavera-Verano bajo temporal. La siembra de un segundo cultivo incrementará el IC de manera apreciable para el nivel nacional.

Conviene ahora examinar a dos factores adicionales del binomio intensidad-capacidad en cuanto a la producción de alimentos. Uno de estos compete al componente de capacidad y deriva de la tecnología tradicional: el manejo de cultivos compuestos (asociaciones, intercalaciones, relevos, etc.); el otro afecta al rendimiento y deriva de efectos a plazo mediano de la rotación de cultivos.

El cultivo compuesto ha sido aparentemente abandonado por los productores tradicionales o está en ese proceso. El sistema de cultivos compuestos había tenido al maíz como base en México. Según el V Censo Agrícola, Ganadero y Ejidal, 10.8 % de la superficie cosechada de maíz se manejó en asociación con otras especies en el ciclo P-V 1970. En cambio, en el VII Censo desaparecieron las categorías de maíz asociado como cultivo principal, reflejando probablemente su reducida importancia.

La estrategia tradicional en México para cultivar en asociación al maíz y al frijol bajo clima templado era la asociación del maíz con frijol de guía larga. Pero también se asociaba el maíz con frijol de semiguía y con tipos arbustivos. Otra especie frecuente en la asociación era la calabaza. El primer autor de este artículo revisa estos tipos de cultivos compuestos en otra publicación (Turrent, 1976). Es también de citarse al cultivo compuesto tradicional conocido como "huerto intercalado". En este sistema tradicional aún practicado en el Altiplano de México, se cultivan

hileras de frutales caducifolios espaciadas 10 a 15 m entre sí, intercalando maíz entre las hileras.

La tecnología de asociar al maíz y al frijol de guía larga es tradicional en México. Sin duda, representaba ventajas para los productores tradicionales. Una de estas ventajas era la mayor producción de ambos granos maíz y frijol, que podía obtenerse de la misma superficie. Había otras ventajas asociadas a la diversidad biológica del cultivo, que han sido ampliamente reconocidas desde la década de los años 70 (Litsinger y Moody, 1976; Trenbath, 1976). En la actualidad, se sigue investigando en el país y en el extranjero, para entender más sobre las ventajas de este concepto tradicional, y aprovecharlo en la producción moderna de alimentos (Allen and Obura, 1983; West y Griffit, 1992; Hiebsch *et al.*, 1995, Iragavarapu y Randall, 1996).

Las políticas oficiales (crédito, seguro, extensión), que perseguían modernizar al campo mexicano, ignoraron durante los años 70 y 80, el conocimiento objetivo sobre la validez de los cultivos compuestos. Su objetivo explícito fue eliminarlos. Lograron, equivocadamente, reducir la superficie dedicada a esos cultivos compuestos, y entre estos, al maíz asociado con frijol de guía. Este empeño oficial, más la creciente escasez relativa de mano de obra, y el mayor riesgo de acame de la asociación de maíz con frijol de guía, lograron reducir severamente la superficie dedicada a este cultivo compuesto en México.

Mientras tanto, en un experimento conducido en el Plan Puebla en 1972, el primer autor y sus colegas del Plan Puebla, informan de una eficiencia relativa de la tierra (ERT) igual a 1.74, en la asociación tradicional de maíz con frijol de guía larga, bajo temporal (Cimmyt, 1973). Una ERT igual a 1.74 implica que en una hectárea sembrada con la asociación de maíz y frijol de guía, se obtiene la misma producción de granos de maíz y frijol que en dos parcelas manejadas con los monocultivos de maíz y de frijol, cuyas superficies sumen 1.74 ha. La evidencia de la superior productividad de la tierra cuando se la maneja con cultivos compuestos, es amplia en el mundo. Esta es una forma funcional de incrementar la dimensión de capacidad de campo.

Los autores proponen, que la pérdida de la tecnología tradicional de cultivos compuestos actuó como factor negativo en la producción de alimentos, en el período estudiado. También sugieren los autores, que es posible rescatar una parte de lo

tecnológicamente perdido, por el camino de conjugar las nuevas tradiciones de producción y las fortalezas de la agricultura tradicional.

Finalmente, nos referimos al efecto del factor rotación de cultivos, sobre la productividad de la tierra. Se siguen conduciendo experimentos clásicos de larga duración en el extranjero, en los que se cotejan hipótesis sobre la nula diferencia entre el uso del monocultivo y de la rotación de cultivos, así como de la corrección de las deficiencias nutricionales de los cultivos con materia orgánica o con fertilizantes químicos. Un ejemplo es el experimento conocido como "The Morrow Plots", citado por Reetz *et al.* (1990). En este experimento, la Universidad de Illinois ha comparado la rotación maíz-avena-alfalfa con el monocultivo de maíz durante 113 años, en el mismo sitio. Es decir, que ha habido efectos acumulados de 113 años sobre las parcelas tratadas experimentalmente. Los resultados señalan que, cuando coinciden los cultivos de maíz de la rotación y del monocultivo, el rendimiento de maíz bajo rotación es mayor que bajo monocultivo, no importando las dosis aplicadas de fertilizante y/o de materia orgánica. Hay un efecto de rotación de cultivo sobre la producción, que es independiente del efecto nutricional. Se ha especulado, que este efecto-rotación deriva básicamente de la actividad de la biomasa microbiana asociada a ambos tratamientos.

Aunque en la actualidad el monocultivo es el sistema típico de las áreas productoras de maíz de México, en lo pasado, el monocultivo de cultivos compuestos tradicionales, fue lo común. Infelizmente, carecemos de información experimental como la recién citada de 113 años de duración en el estado de Illinois, Estados Unidos; pero parecería razonable formular la hipótesis de que el monocultivo tradicional compuesto ocuparía una posición intermedia entre el monocultivo simple y la rotación, en cuanto a la productividad de la tierra. Si esta hipótesis fuera válida, la evolución reciente del campo mexicano habría tenido que prescindir de la parte del efecto-rotación, favorable a la producción, que correspondería al monocultivo tradicional compuesto. Y tal, sería un factor de demérito en la historia reciente de la producción de alimentos en México.

Nuestro grupo de investigación tiene en cotejo un variante del huerto intercalado tradicional que persigue integrar a los elementos del cultivo compuesto y la rotación de cultivos en la misma tecnología. Esta es

una variante diseñada para pequeñas unidades de producción. Un ejemplo muy prometedor es el huerto de durazno en Tatura intercalado con el cultivo compuesto de maíz en franjas alternantes y microrotantes con frijol o alfalfa. En estos variantes, cada especie ocupa la tercera parte del terreno. Los primeros resultados muestran que el ingreso neto de la unidad de producción se incrementa hasta cincuenta veces y la demanda de mano de obra hasta seis veces respecto del monocultivo simple de maíz. No disponemos aún de lecturas sobre la ERT.

CONCLUSIONES

En este ensayo se examinan evidencias pertinentes al potencial del campo mexicano para producir alimentos de origen vegetal. Estas evidencias son tratadas en términos de 17 granos alimenticios, entre los que se incluye a seis cereales, a siete leguminosas comestibles y a cuatro oleaginosas. Cabe advertir que el método de análisis seguido es empírico y se apoya en la historia reciente del campo, según la serie estadística de la Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural. Las conclusiones que se presentan a continuación competen a las posibilidades técnicas de producción, apoyadas en las disponibilidades de los recursos mano de obra, tierra de labor, agua y tecnología. Sin embargo, el transformar estas posibilidades en alimentos depende claramente de factores adicionales, cuyo análisis no se aborda en este ensayo.

1. El campo mexicano tiene los recursos para producir 48 millones de toneladas anuales de los 17 granos alimenticios principales que reclamará un México de 150 millones de habitantes, sin cambiar el uso actual de la tierra.

2. Una forma de lograr la producción de 48 millones de toneladas anuales de los 17 principales granos alimenticios, sería incrementar el Índice de Cultivo observado en el año agrícola 1995 hasta el valor de 1, mientras se mantuvieran constantes (a) la superficie de labor dedicada a cultivos de ciclo corto; (b) el rendimiento promedio nacional de los 17 granos; y (c) el Índice de No-Siniestro. También se puede lograr el nivel de producción de 48 millones de toneladas si se hacen coincidir el máximo rendimiento promedio nacional (1992, $R=2.403 \text{ t ha}^{-1}$) y un IC igual a 0.93, que representa el incremento de 5.4 % sobre el máximo IC logrado (1981, $IC=0.882$).

3. Para producir 65 millones de toneladas anuales de los 17 granos alimenticios que demandaría un México de 200 millones de habitantes, se requeriría abrir 6.3 millones de ha de la reserva de tierras de labor, a los cultivos de ciclo corto, mientras se mantuviera el rendimiento promedio nacional en su valor máximo hasta ahora observado y el IC se incrementara hasta el valor de 1, y el INS se mantuviera en su valor actual.

LITERATURA CITADA

- Allen, J.R. y R.K. Obura. 1983. Yield of corn, cowpea and soybeans under different intercropping systems. *Agron. J.* 75: 1005-1009.
- Andrews, D.J. y A.H. Kassam. 1976. The importance of multiple cropping in increasing world food supplies. pp. 1-10. *In: Multiple cropping. Special Publication Number 27. American Society of Agronomy, USA.*
- Calva, J.L. 1994. Probables efectos de un Tratado de Libre Comercio en el campo mexicano. 3a. ed. Fontamara. México, D.F.
- Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo. CIMMYT. 1974. El Plan Puebla. Siete años de experiencia: 1967-1973. El Batán, México.
- FAO. 1993. Agricultura: Hacia el año 2010. Conferencia de la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO). Noviembre de 1993. Roma. Italia.
- González Acuña, I.J., A. Turrent Fernández y R. Avelaño Salazar. 1991. Las provincias agronómicas de la tierra de labor bajo temporal en México. (circulación interna). Instituto Nacional de Investigaciones Forestales y Agropecuarias. México, DF.
- Hiebsch, C.H. y R.E. McCollum. 1987. Area by time equivalency ratio: A method for evaluating the productivity of intercrops. *Agron. J.* 79: 15-22.
- Instituto Nacional de Estadísticas, Geografía e Informática. INEGI. 1994. VII Censos agrícolas ganaderos y ejidales de 1991. México, DF.
- Iragavarapu, T.K. y G.W. Randall. 1996. Border effects on yields in a strip-intercropped soybean, corn and wheat production systems. *J. Prod. Agric.* 9: 101-107.
- Kemphorne, O. 1952. The design and analysis of experiments. John Wiley & Sons Inc. New York.
- Litsinger, J.A. y K. Moody. 1976. Integrated pest management in multiple cropping systems. pp. 293-316. *In: Multiple cropping. ASA Special Publication Number 27. American Society of Agronomy, USA.*
- Reets Jr., H.F., T.R. Peck y M.G. Oldham. 1990. Long term evidence for sound fertility management. *Better crops with plant food* 74: 18-20.
- Rodríguez Cisneros, M. 1976. Las características de la agricultura mexicana y proyecciones de la demanda y la oferta de productos agropecuarios a 1976 y 1982. Banco de México. México, D.F.
- Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural. 1995. Anuario Estadístico de la Producción Agrícola de los Estados Unidos Mexicanos. Centro de Estadística Agropecuaria. SAGAR. México, DF.
- Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos. SARH. 1988. Agua y sociedad: una historia de las obras hidráulicas de México. SARH. México, DF.
- Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos. SARH. 1993. PROCAMPO: vamos al grano para progresar. México, DF.
- Secretaría de Recursos Hidráulicos. SRH. 1976. Atlas del agua de la República Mexicana. México, DF.
- Trenbath, B.R. 1976. Plant interactions in mixed crop communities. pp.129-169. *In: Multiple cropping. ASA Special Publication Number 27. American Society of Agronomy, USA.*
- Turrent Fernández, A., 1976. El sistema agrícola, un marco de referencia necesario para la planeación de la investigación agrícola en México. Colegio de Postgraduados, Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos. SARH. México.
- Turrent Fernández, A. 1993. Aprovechamiento de la Tierra de Labor, tecnologías y posibilidades de autosuficiencia alimentaria. pp. 77-106. *In: Alternativas para el campo mexicano. Tomo II. José Luis Calva, Coordinador. Fontamara. México, D.F.*
- Turrent Fernández, A. 1996. Tecnologías para el desarrollo del campo mexicano. pp. 163-186. *In: El campo mexicano: Ajuste neoliberal y alternativas. José Luis Calva, Coordinador, Juan Pablos Editor, S.A. México, D.F.*
- West, T.D. y D.R. Griffit. 1992. Effect of strip-intercropping corn and soybean on yield and profit. *J. Prod. Agric.* 5: 107-110.

AGRODESIA, METODOLOGIA PARA LA DIVISION DE TERRENOS

Agrodesy, Methodology for Land Division

S. Pérez Nieto¹ y F. R. Hernández Saucedo

RESUMEN

Para la realización de diversos estudios con fines de proyectos de Ingeniería Agrícola, es necesario además de conocer el área total de la superficie de estudio, hacer divisiones de ésta de acuerdo con distintos criterios, lo cual es estudiado por la parte de la topografía conocida como agrodesia. A pesar de la importancia de esta área de estudio de los suelos, la literatura no reporta una metodología general, sistematizada y que abarque todos los casos de división que se pueden presentar; en lugar de ello, se hace referencia a situaciones particulares que se resuelven por trigonometría. Considerando que: 1) la mejor representación de un punto cualquiera sobre el plano, es a través de sus coordenadas; 2) el cálculo de las coordenadas puede hacerse a partir de los datos levantados en campo, siguiendo el procedimiento definido por Pérez y Sánchez (1995); y 3) el área del terreno así definido, y de cualquier otra área, se puede calcular fácilmente a partir de las coordenadas de sus vértices; en el presente trabajo se definieron y sistematizaron los casos más comunes que se pueden presentar para la división de terrenos, empleando las fórmulas de la geometría analítica para una recta de pendiente conocida, pendiente de una recta que pasa por dos puntos y distancia entre dos puntos; y se generó la metodología general para determinar las coordenadas de los puntos que definen la línea divisoria para cada uno de los casos definidos. Las metodologías así definidas se validan con la resolución y comprobación de casos concretos de división de terrenos.

Palabras clave: Planimetría, fraccionamiento, límites de propiedad de terrenos.

SUMMARY

To carry out a variety of studies in the field of agricultural engineering projects, it is necessary, in

¹ Departamento de Irrigación de la Universidad Autónoma Chapingo, 56230 Chapingo, Edo. de México. Tel.: (595) 43222. E-mail: sperezn@taurus1.chapingo.mx

Aceptado: Marzo de 1999.

addition to the determination of the total area of study, to make land divisions of this area, according to different criteria, which are studied in the topographic field named agrodesy. In spite of the importance of this field of land study, literature does not report a generalized and systematized methodology covering all possible cases. Instead, only particular situations, which are usually solved by trigonometry, are referred to. Taking in account that 1) the best way that any given point can be positioned on a plane is through its coordinates; 2) coordinate computations can be made, from field data, following the procedure given by Pérez y Sánchez (1995); and 3) the study area defined in this manner and any given area can be easily computed from the coordinates of their vertices. In this paper, the most common cases for land division are analyzed and systematized, using analytical geometry formulas for a line with a known slope, for the slope of a line passing through two points, and for the distance between two points, and a general approach for determining the coordinates of the points defining the boundary line for each defined case. The methodologies defined this way were validated by the solution and testing of specific cases dealing with land division.

Index words: Plane survey, subdivision survey, partitioning land, land property boundaries.

INTRODUCCION

Para la realización de diversos estudios con la finalidad de elaborar proyectos de Ingeniería Agrícola, es necesario contar, en principio, con un plano del terreno en el que éste se efectuará, con sus características generales más sobresalientes y de interés según el tipo de proyecto, tales como infraestructura, vías de acceso, configuración, área, etc. En ocasiones, además de conocer al valor del área total del terreno en estudio, se requiere hacer divisiones de éste de acuerdo con distintos criterios, lo cual es motivo de estudio de la parte de la Topografía conocida como Agrodesia. A pesar de la importancia de este tema, la literatura no reporta una metodología general y sistematizada en la que se definan todos los casos posibles de división de terrenos que se pueden presentar;

sino que más bien se hace referencia a situaciones particulares que se resuelven empleando las relaciones de la trigonometría, ya que se parte del conocimiento de las longitudes y orientaciones de las líneas (mediante Azimut o Rumbo) que definen los linderos del terreno, lo que dificulta la generalización de las formas de abordar y resolver los casos expuestos.

Tomando como punto de partida lo anterior, y considerando que a partir del conocimiento de las coordenadas de los vértices del terreno a dividir, es posible, por una parte, identificar todos los casos de división de terrenos que se pueden presentar y, por otra, establecer y generalizar las metodologías correspondientes, el presente trabajo inicia describiendo la forma de proceder para la determinación de las coordenadas de los vértices del terreno, para continuar con la definición de tres casos de división, estableciendo la metodología correspondiente para cada uno de ellos; finalmente se desarrollan ejemplos para los dos primeros casos. Es evidente que, en realidad, se pueden presentar una infinidad de situaciones para dividir terrenos, que dependen de sus dimensiones, de sus formas y del objetivo de la división, por lo que sería prácticamente imposible referirse a todos ellos; sin embargo, se considera que, en los tres casos aquí definidos, quedan involucradas las situaciones que se presentan con mayor frecuencia en el campo.

Por último, es conveniente agregar aquí que si bien, la Agrodesia, se refiere a la división de terrenos agrícolas, toda la teoría aquí presentada es válida para la división de cualquier tipo de terrenos, con tal de que se ajusten a las consideraciones expuestas en el análisis, de modo que los casos relativos a fraccionamientos de predios urbanos con fines de venta o testamentarios, quedan incluidos en las metodologías que se desarrollan en este trabajo.

Por todo lo anterior, cuando el trabajo se iniciará con la realización del levantamiento del terreno a dividir, lo más conveniente será hacerlo de manera que se obtengan finalmente las coordenadas de todos los vértices del mismo, para a partir de ellas calcular su área, pues es la forma más conveniente para hacerlo.

DESARROLLO DEL TEMA

Determinación de las Coordenadas de los Vértices del Terreno

Para obtener las coordenadas de los vértices del terreno, se puede seguir cualquier procedimiento de

trabajo; sin embargo, lo más conveniente y simple es, siempre que sea posible, establecer una poligonal que tenga como vértices los mismos del terreno, de manera que se midan directamente las longitudes de los linderos y los ángulos entre ellos, lo cual conduce directamente al conocimiento de las coordenadas, aplicando las Expresiones 1 y 2 entre cada par de puntos consecutivos.

$$X_P = X_E + DHx \quad (1)$$

$$Y_P = Y_E + DHy \quad (2)$$

En las ecuaciones anteriores, X_P y Y_P son las coordenadas buscadas X y Y , respectivamente, del vértice P ; X_E y Y_E , son las coordenadas conocidas del punto de partida para el cálculo (empleado como estación en el trazo); y DHx y DHy son las proyecciones rectangulares sobre el eje x y y , respectivamente de la longitud de la línea que une al vértice P y el punto de partida.

De no ser posible el establecimiento de la poligonal por los vértices del terreno, por la presencia de obstáculos, como en el caso que se ilustra en la Figura 1, se traza una poligonal que pase lo más cerca posible de los linderos y se hacen mediciones angulares y lineales desde esa poligonal a los vértices de la propiedad, para a partir de ellos, calcular primero las longitudes y las direcciones de los linderos y, finalmente, las coordenadas de los vértices.

Pero, independientemente de cual sea la forma de proceder, si se conocen las coordenadas de los vértices del terreno, su área se puede obtener fácilmente aplicando la Ecuación 3, que se deduce en los párrafos siguientes a partir de lo expuesto por Davis y Kelly (1984). Para tal efecto supóngase que se tiene el predio de la Figura 2,

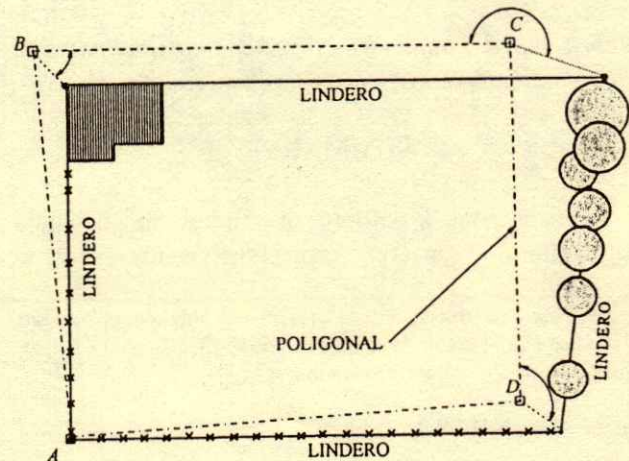


Figura 1. Trazo de una poligonal de apoyo para la definición de vértices y linderos de un terreno.

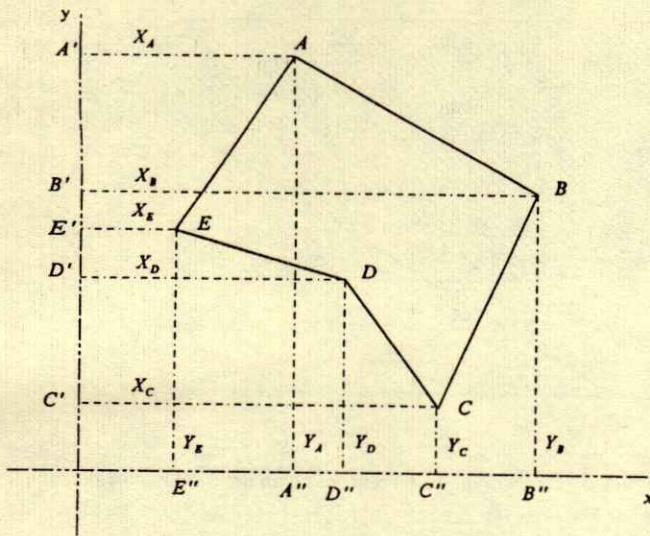


Figura 2. Representación esquemática de un terreno cuyas coordenadas de sus vértices se conocen, para la deducción de la Ecuación 3.

cuyos vértices son los puntos A, B, C, D y E, y sus respectivas coordenadas X y Y se han esquematizado como las distancias desde cada uno de ellos hasta los ejes y y x, respectivamente, de manera que se forman trapecios entre cada línea del polígono, sus distancias hasta cada uno de los ejes y el propio eje. Así por ejemplo, para la línea A-B se forma el trapecio A-A'-E'-E, cuyos lados son A-E, X_E, E'-A' y X_A.

De la Figura 2, es evidente que el área del polígono A-B-C-D-E-A es igual a la suma de las áreas de los trapecios A-B-B'-A'-A y B-C-C'-B'-B, menos las de los trapecios C-D-D'-C'-C, D-E-E'-D'-D y E-A-A'-E'-E; lo que se puede expresar como sigue, denotando por A, el área del polígono A-B-C-D-E-A y por A_t la de los trapecios:

$$A = A_{ABCDEA} = A_{t_{ABB'A'}} + A_{t_{BCC'B'}} - A_{t_{CDD'D'C'}} - A_{t_{DEE'D'}} - A_{t_{EAA'E'}}$$

Sustituyendo en la expresión anterior, las áreas de los trapecios en términos de los valores de sus lados, se obtiene:

$$A = 1/2(X_A + X_B)(Y_A - Y_B) + 1/2(X_B + X_C)(Y_B - Y_C) - 1/2(X_C + X_D)(Y_D - Y_C) - 1/2(X_D + X_E)(Y_E - Y_D) - 1/2(X_E + X_A)(Y_A - Y_E)$$

De donde, después de hacer las operaciones indicadas, las simplificaciones posibles y ordenar los términos

resultantes convenientemente, se obtiene la fórmula siguiente, para calcular el área del polígono de la Figura 2.

$$A = \frac{1}{2} \{ Y_A(X_B - X_E) + Y_B(X_C - X_A) + Y_C(X_D - X_B) + Y_D(X_E - X_C) + Y_E(X_A - X_D) \}$$

En esta fórmula, puede observarse que cada uno de los términos del numerador, es igual al producto de la coordenada Y, de un vértice cualquiera y la diferencia de las coordenadas X del vértice siguiente y la del anterior; lo cual se puede ampliar para obtener la ecuación general para calcular el área de un polígono cualquiera para el que se conocen las coordenadas de todos sus vértices, que es la Ecuación 3, expuesta enseguida:

$$A = \frac{\sum_{i=1}^n Y_i \times (X_{i+1} - X_{i-1})}{2} \quad (3)$$

en la que: A, es el área del terreno cuyas coordenadas de sus vértices se conocen, en m²; Y_i, es la coordenada Y, del iésimo vértice del terreno, en m; X_{i+1}, es la coordenada X del iésimo+1 vértice del terreno, en m; y X_{i-1}, es la coordenada X del iésimo-1 vértice del terreno, en m.

Fundamentos Matemáticos

Como se ha indicado, cualquiera que sea el caso de división que se tenga, será conveniente contar de preferencia con las coordenadas de los vértices del terreno, de modo que con ellas se apliquen algunos conceptos del álgebra y de la geometría analítica que permitan calcular, a su vez, las coordenadas del punto o de los puntos que definan la localización de la línea divisoria; lo cual permitirá generalizar las metodologías planteadas y facilitará su programación en computadora.

Las fórmulas de la geometría analítica que se requerirán aplicar en la mayoría de los casos, y que se emplearán más adelante para el planteamiento de los casos definidos, son las que se exponen enseguida, tomadas de Lehmann (1984). La ecuación de una recta que pasa por dos puntos P₁(X₁, Y₁) y P₂(X₂, Y₂), se obtiene de la siguiente relación:

$$Y = m(X - X_1) + Y_1 \quad (4)$$

en la que m , es la pendiente de la recta y está dada por la Expresión 5:

$$m = \frac{Y_1 - Y_2}{X_1 - X_2} \quad (5)$$

Por otro lado, la distancia entre los puntos P_1 y P_2 , de acuerdo con el Teorema de Pitágoras, se puede calcular con la Fórmula 6.

$$D_{12} = \sqrt{(X_1 - X_2)^2 + (Y_1 - Y_2)^2} \quad (6)$$

En los tres puntos siguientes, se desarrollan la metodología y las ecuaciones específicas para resolver los tres casos más comunes de división de terrenos que se pueden presentar.

Metodología para División por una Línea que Pase por un Punto del Lindero del Terreno Cuyas Coordenadas se Conocen

Para ilustrar el desarrollo de la metodología para la solución de este caso, supóngase que el terreno de la Figura 3 se desea dividir en dos partes mediante una línea recta que pase por el vértice A y, de tal manera, que el área de la parte superior A_s (previamente especificada), sea mayor que la del polígono $ABCD$, pero menor que la del polígono $ABCDEA$, de modo tal que la línea divisoria debe intersectar la línea DE en el punto P .

El problema consiste, por lo tanto, en hallar las coordenadas X_P y Y_P , del punto P , tales que el área A_s sea igual a la del polígono $ABCDPA$ (o lo que es equivalente, que el área inferior A_i , sea igual a la diferencia del área total del polígono con A_s). Ahora bien, como hay dos incógnitas, se requiere un par de ecuaciones que permitan, al resolverlos simultáneamente, encontrar sus valores; dichas ecuaciones se obtienen como sigue, para el caso que se está analizando.

A) La primera ecuación se obtiene de aplicar la Expresión 3 al polígono $ABCDPA$, cuya área a separar A_s es conocida, o alternativamente, aplicando dicha expresión al polígono $APEFA$ cuya área A_i , también es conocida. Para la primera situación la expresión de esta ecuación es como sigue:

$$A_s = \frac{1}{2} \{ Y_1(X_2 - X_n) + Y_2(X_3 - X_1) + \dots + Y_{P-1}(X_P - X_{P-2}) + Y_P(X_{P+1} - X_{P-1}) + Y_{P+1}(X_{P+2} - X_P) + \dots + Y_n(X_1 - X_{n-1}) \} \quad (7)$$

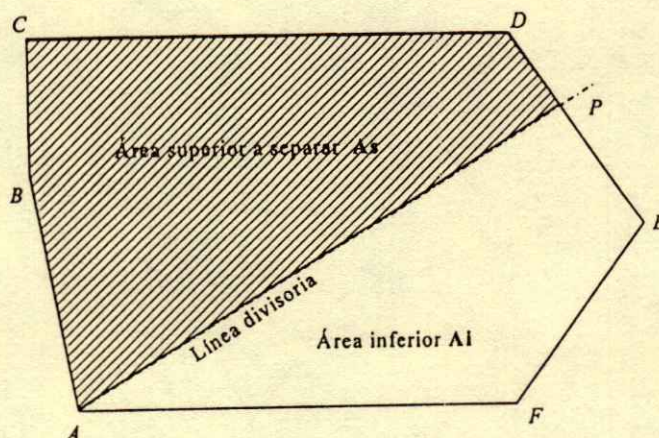


Figura 3. División de un terreno por una línea que pasa por uno de sus vértices.

B) La segunda ecuación se establece considerando que el punto P solución, debe estar sobre una línea cuya ecuación se conoce (la línea DE para el ejemplo), y que en consecuencia, sus coordenadas X_P y Y_P , deben satisfacer la ecuación de dicha línea, que se puede obtener aplicando simultáneamente las Expresiones 4 y 5 entre los puntos $P_1(X_1, Y_1)$ y $P_2(X_2, Y_2)$ por los que pasa. Esta consideración evidencia la importancia de identificar previamente la línea sobre la cual se localizará el punto P .

$$Y_P = m(X_P - X_1) + Y_1 \quad (8)$$

$$Y_P = \frac{Y_2 - Y_1}{X_2 - X_1}(X_P - X_1) + Y_1 \quad (9)$$

Es importante aquí señalar, que si bien la metodología recién discutida, se refiere específicamente al caso analizado relativo a la Figura 3, ésta puede, por supuesto, generalizarse a cualquier caso en que la línea divisoria pase por un punto sobre el lindero del terreno, cuyas coordenadas se conocen.

Para clarificar este caso se exponen enseguida un ejemplo numérico. Para el desarrollo del ejemplo, supóngase que el terreno esquematizado en la Figura 4 cuyas coordenadas de sus vértices se exponen en el Cuadro 1, se desea dividir en dos partes iguales mediante una línea divisoria que pase por el vértice B . Por simple inspección de la figura referida, es posible intuir que la línea divisoria pasará entre los puntos E y D ; pero esto puede y debe comprobarse calculando las áreas necesarias.

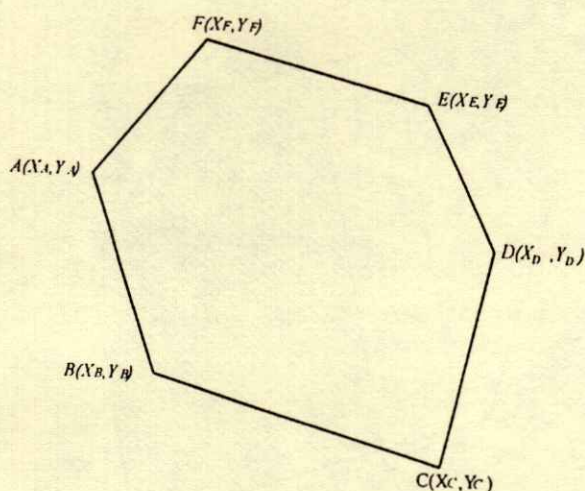


Figura 4. Esquematación de un terreno para el desarrollo de los ejemplos.

De los datos del Cuadro 1 y aplicando la Expresión 3 se tiene que el área del polígono completo es 215 101.8 m², el área del polígono BEFAB es igual a 87 130.88 m² y la del polígono BCD es 76 239.63 m², siendo estos últimos dos valores menores que la mitad del área del polígono completo que es igual a 215 101.8/2 = 107 550.9 m². El cálculo anterior muestra que, en efecto, la línea divisoria BP debe estar sobre la línea definida por los vértices E y D, como se ilustra en la Figura 5.

La primera ecuación del sistema se obtiene al aplicar la Expresión 7 al polígono inferior a la línea divisoria BPDCB, cuya área Ai es igual a 107 550.9 m²:

$$A_i = \frac{1}{2}[Y_B(X_P - X_C) + Y_P(X_D - X_B) + Y_D(X_C - X_P) + Y_C(X_B - X_D)]$$

Sustituyendo todos los valores conocidos se tiene:

$$2 \times 107550.9 = 760.389(X_P - 1525.888) + Y_P(1554.615 - 1081.422) + 971.808(1525.888 - X_P) + 636.738(1081.422 - 1554.615)$$

Cuadro 1. Coordenadas de los vértices del terreno esquematizado por el polígono de la Figura 4.

Vértice	Coord. X	Coord. Y
A	1000.000	1000.000
B	1081.422	760.389
C	1525.888	636.738
D	1554.615	971.808
E	1422.956	1131.632
F	1145.927	1192.473

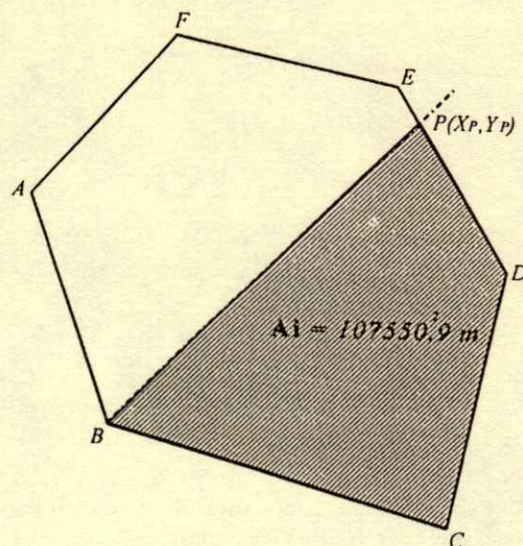


Figura 5. División de un terreno en dos partes iguales por una línea que pasa por su vértice C.

Después de hacer las operaciones indicadas y reducir términos semejantes, resulta la Ecuación 10:

$$211.419X_P - 473.193Y_P + 194771.856 = 0 \tag{10}$$

Por otro lado, la segunda ecuación se obtiene sustituyendo las coordenadas de los vértices E y D, en la Expresión 9, como sigue:

$$Y_P = \frac{1131.632 - 971.808}{1422.956 - 1554.615} (X_P - 1422.956) + 1131.632$$

$$1.21392X_P + Y_P - 2858.98675 = 0 \tag{11}$$

Resolviendo simultáneamente las Ecuaciones 10 y 11, se obtienen los valores buscados de las coordenadas X_P y Y_P del punto P, que son:

$$X_P = 1474.930 \text{ m}; Y_P = 1068.540 \text{ m}$$

Metodología para División por una Línea de Dirección Dada

En este punto se analiza la forma de proceder cuando la línea divisoria debe tener una dirección dada, lo cual puede especificarse de diversas maneras; aunque lo más conveniente en todos los casos será expresar finalmente la dirección de la divisoria con el valor de su pendiente, ya que con este valor se podrá obtener una de las ecuaciones que definirá la ubicación de los puntos sobre líneas del polígono por donde dicha divisoria cruzará. Las tres

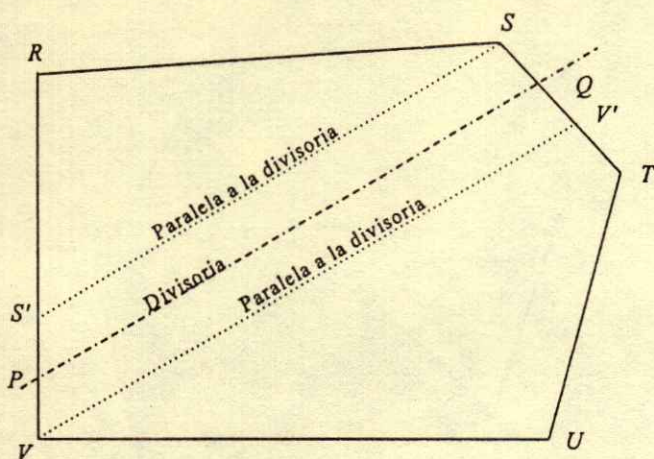


Figura 6. Representación esquemática de un terreno para ser dividido por una línea de dirección conocida.

formas más comunes en que se puede indicar la dirección de la línea divisoria y la forma de calcular su pendiente, son las que se presentan a continuación.

1. Se conoce el Azimut o el Rumbo de la Línea. En este caso se debe emplear la Expresión 12 para calcular la pendiente m de la línea; en la que AzD , es el Azimut proporcionado de la línea divisoria. Lógicamente, si el valor conocido es el del Rumbo de la divisoria, debe calcularse su correspondiente Azimut, antes de aplicar la Expresión 12.

$$m = \cot(AzD) \quad (12)$$

2. La línea divisoria debe ser paralela a un lindero del terreno. Como se sabe, la pendiente de dos líneas paralelas cualesquiera es la misma, la cual se puede calcular para esta situación, aplicando la Expresión 5 para los puntos que definen el lindero al cual es paralela la divisoria.

3. La línea divisoria debe ser perpendicular a un lindero del terreno. Para este caso, se calcula primero la pendiente de la línea que es lindero del terreno con la Expresión 5; al valor obtenido se le saca su recíproco y se le cambia de signo, y el valor resultante será la pendiente m de la línea divisoria.

Una vez conocida la pendiente de la divisoria y el área a separar, se trazan paralelas a ésta a partir de los vértices conocidos que se consideren "a ojo" como límites entre los cuales quedará finalmente ubicada la línea divisoria; tal como las líneas SS' y VV' de la Figura 6.

En dicha figura, como para las líneas referidas se conoce su pendiente y un punto por el que pasan, se puede obtener su ecuación aplicando la Expresión 4; las

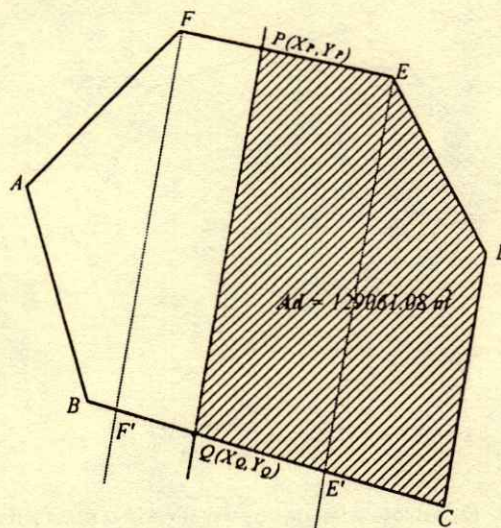


Figura 7. División del terreno de la Figura 4 por una línea divisoria paralela a su lindero CD.

coordenadas de los puntos S' y V' se pueden hallar resolviendo simultáneamente los sistemas de ecuaciones para las rectas SS' y RV y para las rectas VV' y ST , respectivamente; conocidas las coordenadas de V' y S' se pueden calcular las áreas de los polígonos $S'RSS'$ y $VV'TUV$, con las que se puede definir con toda certeza sobre qué líneas del polígono original deberán ubicarse los puntos P y Q , a fin de que la línea divisoria definida por ellos, proporcione las áreas a separar. En la Figura 7, el punto P debe quedar sobre la línea RV y el punto Q sobre la ST , cuyas ecuaciones se conocen.

Hecho lo anterior, el problema consiste en determinar las coordenadas X_P y Y_P del punto P y X_Q y Y_Q del punto Q , para lo cual se requieren necesariamente cuatro ecuaciones, cuya obtención se analiza en los cuatro incisos siguientes.

A). La primera ecuación resulta de sustituir las coordenadas de P y Q que se buscan, en la Expresión 5, en la que m , es conocida.

$$m = \frac{Y_Q - Y_P}{X_Q - X_P} \quad (13)$$

B). La aplicación de la Expresión 3 al cálculo del área a separar, involucrando los vértices P y Q , proporciona la segunda ecuación que resulta del tipo (14).

$$As = \frac{1}{2} \{ Y_1(X_2 - X_n) + \dots + Y_{P-1}(X_P - X_{P-2}) + Y_P(X_{P+1} - X_{P-1}) + Y_{P+1}(X_{P+2} - X_P) + \dots + Y_{Q-1}(X_Q - X_{Q-2}) + Y_Q(X_{Q+1} - X_{Q-1}) + Y_{Q+1}(X_{Q+2} - X_Q) + \dots + Y_n(X_1 - X_{n-1}) \} \quad (14)$$

Para la Figura 6, el cálculo del área se puede hacer tanto para el polígono *PRSQP*, como para el *PQTUVP*, pues ambas áreas se conocen e involucran a los puntos *P* y *Q*. C). Puesto que el punto *P* debe, necesariamente, localizarse sobre una línea cuya ecuación se conoce (para el caso de la Figura 6, sobre la línea *RV*), la tercera ecuación resulta de sustituir en lugar de las variables de la ecuación de dicha línea, las coordenadas del punto *P*, que es idéntica a la Expresión 9.

D). La cuarta ecuación del sistema resulta de manera análoga que la tercera, al sustituir las coordenadas del punto *Q* en la ecuación de la línea sobre la cual este punto se localiza.

Las coordenadas de *P* y *Q* se determinan al resolver simultáneamente las cuatro ecuaciones planteadas, y conocidas éstas pueden calcularse las distancias convenientes o necesarias para la ubicación en campo de los puntos *P* y *Q*.

Para ilustrar esta metodología se expone en seguida un ejemplo. Se desea dividir el terreno de la Figura 4, mediante una línea divisoria que sea paralela al lindero *CD* y de tal manera que el área del lado derecho de dicha línea divisoria sea 60 % del área total *A* del terreno.

Para resolver el problema, primero se calcula el área *Ad* a separar del lado derecho de la línea divisoria:

$$Ad = 0.6 \times A = 0.6 \times 215101.8 \text{ m}^2 = 129061.08 \text{ m}^2;$$

luego, se calcula la pendiente de la línea *CD*, que será igual a la de todas las líneas paralelas a ella; dicho cálculo se hace aplicando la Expresión 5 entre dichos puntos :

$$m = \frac{971.808 - 636.738}{1554.615 - 1525.888} = 11.66394$$

Por inspección, y de acuerdo con el valor del área, que es ligeramente mayor que la mitad del total, se puede inferir que la línea divisoria intersecará las líneas *EF* y *BC*; para verificar lo anterior, se trazan dos líneas paralelas al lindero *CD*, una por el punto *E* y otra por el punto *F*, generando los puntos *E'* y *F'*, en las

intersecciones respectivas con la línea *BC*, tal como se muestra en la Figura 7. Las ecuaciones de las líneas *EE'* (15) y *FF'* (16), se obtienen aplicando la Expresión 4, con $m = 11.66394$; y la Ecuación 17 resulta de aplicar simultáneamente las Expresiones 5 y 4, como sigue:

$$Y_{EE'} = 11.66394 (X_{EE'} - 1422.956) + 1131.632$$

$$11.66394 X_{EE'} - Y_{EE'} - 15465.64141 = 0 \quad (15)$$

$$Y_{FF'} = 11.66394 (X_{FF'} - 1145.927) + 1192.473$$

$$11.66394 X_{FF'} - Y_{FF'} - 12173.55077 = 0 \quad (16)$$

$$Y_{BC} = \frac{636.738 - 760.389}{1525.888 - 1081.422} (X_{BC} - 1081.422) + 760.389$$

$$-0.27820 X_{BC} - Y_{BC} + 1061.24196 = 0 \quad (17)$$

Resolviendo simultáneamente las Ecuaciones 15 y 17 por un lado y 16 y 17 por otro, se obtienen las coordenadas de los puntos *E'* y *F'*, respectivamente:

$$X_{E'} = 1383.910 \quad Y_{E'} = 676.237$$

$$X_{F'} = 1108.240 \quad Y_{F'} = 752.929$$

Con las coordenadas de *E'* y *F'* y aplicando la Expresión 3, se calculan las áreas de los polígonos *EDCE'E* y *FEDCF'F*

$$A_{EDCE'E} = 57452.0 \text{ m}^2$$

$$A_{FEDCF'F} = 183748.5 \text{ m}^2$$

De las que es evidente que la línea divisoria *PQ*, estará intermedia a las líneas *EE'* y *FF'* y, por lo tanto, intersecará las líneas *EF* y *BC*.

Antes de plantear el sistema de ecuaciones a resolver para hallar las coordenadas de *P* y *Q*, se obtiene la ecuación de la línea *EF*, a partir de la Expresión 9, que es la siguiente:

$$Y_{EF} = \frac{1192.473 - 1131.632}{1145.927 - 1422.956} (X_{EF} - 1422.956) + 1131.956$$

$$-0.21960 X_{EF} - Y_{EF} + 1444.14104 = 0 \quad (18)$$

La primera ecuación del sistema a resolver se obtiene aplicando la Expresión 13 para la pendiente conocida de la línea divisoria, resultando:

$$-11.66394X_P + Y_P + 11.66394X_Q - Y_Q = 0 \quad (19)$$

Aplicando la Expresión 14 al cálculo del área *PEDCQP* se obtiene la segunda ecuación del sistema:

$$Y_P(1422.956 - X_Q) + 1131.632(1554.615 - X_P) + 971.808(1525.888 - 1422.956) + 636.738(X_Q - 1554.615) + Y_Q(X_P - 1525.888) = 2 \times 129061.08$$

$$(Y_Q - 1131.632)X_P + (1422.956 - X_Q)Y_P + 636.738X_Q - 1525.888Y_Q + 611277.6172 = 0 \quad (20)$$

Por último, sustituyendo X_P y Y_P en la Expresión 15, se tiene la tercera Ecuación 21 del sistema y, de manera análoga, sustituyendo X_Q y Y_Q en la Expresión 17, se obtiene la cuarta Ecuación 22, las cuales se exponen en lo que sigue:

$$-0.21962X_P - Y_P + 1444.14104 = 0 \quad (21)$$

$$-0.27820X_Q - Y_Q + 1061.24196 = 0 \quad (22)$$

Resolviendo el sistema de Ecuaciones 19, 20, 21 y 22, se obtienen los siguientes valores para las coordenadas de los puntos P y Q :

$$X_P = 1267.090 \quad Y_P = 1165.863 \\ X_Q = 1228.811 \quad Y_Q = 719.385$$

Metodología para División por una Línea Recta que Pase por un Punto del Interior del Terreno

Se analiza ahora el caso en el que se define un punto intermedio del terreno por el cual debe pasar la línea divisoria, así como el valor del área a separar. En todos los casos similares, se debe conocer la ubicación en campo del punto intermedio, lo cual permite conocer sus coordenadas; por lo tanto, el problema consiste en hallar las coordenadas de los puntos P y Q ubicados sobre los linderos del terreno, tales que se cumplan las dos condiciones impuestas; es decir, que la divisoria pase por el punto intermedio $I(X_I, Y_I)$ y que se separe el área especificada. Lo anterior se ilustra en la Figura 8.

Se tienen, por lo tanto, que determinar las coordenadas X_P , Y_P , X_Q y Y_Q , de los puntos P y Q ; de manera que se trata de un caso similar que el discutido en el punto anterior; la diferencia con aquel estriba en la forma de determinar la posición de los puntos P y Q y la de plantear la primera de las ecuaciones del sistema a

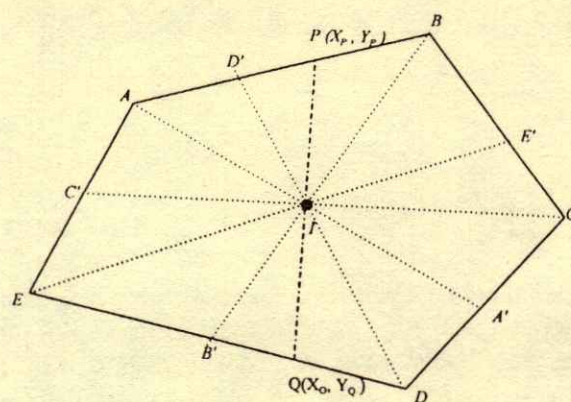


Figura 8. División de un terreno por una línea que debe pasar por un punto intermedio del terreno.

resolver, ya que la obtención de las tres ecuaciones restantes es totalmente similar.

Para definir los linderos sobre los cuales se ubicarán los puntos P y Q , se debe empezar por trazar líneas desde todos y cada uno de los vértices del terreno pasando por el punto intermedio I , tales como las líneas AA' , BB' , CC' , DD' y EE' en la Figura 8; obteniendo posteriormente sus ecuaciones aplicando simultáneamente las Expresiones 5 y 4 para cada una, con las coordenadas del vértice correspondiente y las del punto I . En seguida y aplicando las mismas expresiones entre los vértices correspondientes, se obtienen las ecuaciones de cada uno de todos los linderos del terreno, de modo que, resolviendo simultáneamente las ecuaciones de cada línea que pasa por el punto I , con la del lindero en el que cada una de ellas corta, se conocen las coordenadas de los puntos A' , B' , C' , D' y E' .

El siguiente paso consiste en calcular cada una de las áreas parciales generadas por los linderos del terreno y las líneas trazadas por el punto I ; es decir, para la Figura 9, las áreas de los polígonos: $ABCA'IA$, $BCDB'IB$, $CDEC'IC$, $DEAD'ID$ y $EABE'IE$. Con este último cálculo se obtienen las áreas entre cada par consecutivo de líneas que cruzan por el punto I siendo lineal la variación del área entre una y otra; por lo que se puede averiguar fácilmente entre cuál par de ellas se ubicará la línea PQ y, en consecuencia, sobre qué linderos se localizará cada uno de estos puntos.

Aunque, ciertamente el trabajo anterior es bastante tedioso, es totalmente necesario, pues sólo haciéndolo se garantiza la localización de los puntos P y Q , lo cual, como se hizo notar en el caso anterior, es de extrema importancia al momento de establecer dos de las

ecuaciones del sistema, que permitirán encontrar las coordenadas buscadas de los puntos P y Q . Este trabajo previo hace, de hecho, a este caso como el más laborioso; sin embargo, es común en la práctica que se presente y, por lo tanto, se consideró necesario abordarlo.

Como ya se dijo, la única diferencia en el establecimiento de las ecuaciones del presente caso respecto del caso discutido en el punto anterior, se refiere al planteamiento de la primera ecuación; en efecto, ya que aquí no se conoce la pendiente de la línea divisoria, y en su lugar se cuenta con las coordenadas del punto I , por donde ésta debe pasar, la primera ecuación se establece aplicando las Expresiones 4 y 5 a los puntos P y Q y sustituyendo en ellas, en lugar de las variables X y Y , las coordenadas conocidas de I , tal como se expone a continuación.

$$Y_I = \frac{Y_P - Y_Q}{X_P - X_Q} (X_I - X_P) + Y_P$$

$$(Y_I + Y_P - Y_Q)X_P + (1 - X_I)Y_P - Y_I X_Q + X_I Y_Q = 0 \quad (23)$$

En la que X_I y Y_I son las coordenadas conocidas del punto intermedio I .

Respecto a la segunda ecuación, que se obtiene a partir de la Expresión 3, es conveniente solamente añadir que, a pesar de que el punto I está sobre la línea PQ y no proporciona en realidad información adicional para el cálculo del área del polígono generado, sus coordenadas deben incluirse en dicha expresión, ya que ello permitirá contar con una ecuación lineal simple, en lugar de la que

se obtuvo en el caso anterior, que implica productos de las variables.

CONCLUSIONES

Como conclusión general de la metodología desarrollada se puede referir que ésta es de aplicabilidad general ya que tipifica los casos de división que más comúnmente se presentan en campo y sistematiza los cálculos a realizar para cada uno, lo cual constituye una excelente herramienta para la realización de este tipo de trabajos de ingeniería, ya que anteriormente no se contaba sino con metodologías aplicables a casos específicos que de ninguna manera podían generalizarse y, por lo tanto, cada situación debería analizarse de manera particular.

La metodología planteada es aplicable no solamente a problemas de división de terrenos agrícolas sino también a los correspondientes a terrenos urbanos o fraccionamientos.

Por último, la metodología aquí presentada posibilita además la generación de un programa de computadora que facilite y agilice los cálculos necesarios.

LITERATURA CITADA

- Davis, R.E. y J.W. Kelly. 1984. Topografía elemental. Primera edición. Ed. CECSA. México, DF.
- Lehmann, C.H. 1984. Geometría analítica. Primera edición. Ed. LIMUSA. México, DF.
- Pérez Nieto, S. y J.R. Sánchez Bravo. 1995. Cálculo electrónico de coordenadas para Puntos de Control y Apoyo y de Puntos para Configuración y de Detalle en topografía; Memorias del VI Congreso Nacional de Especialistas en Irrigación; Chapingo, México, 6, 7 y 8 de septiembre.