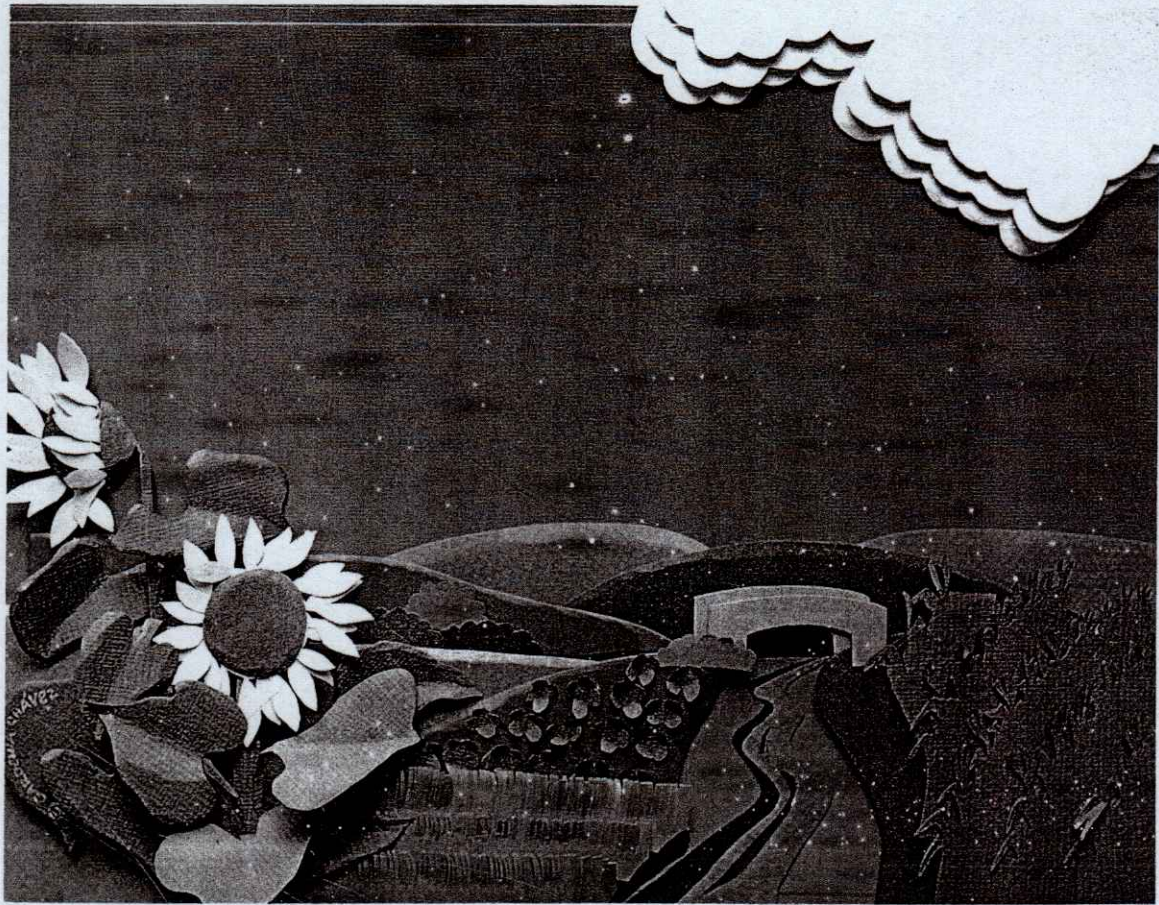


ISSN 0187-5779

TERRA

OCTUBRE - DICIEMBRE DE 2001 • VOLUMEN 19 • NUMERO 4



Organo Científico
de la Sociedad Mexicana
de la Ciencia del Suelo A.C.

TERRA

OCTUBRE - DICIEMBRE DE 2001 • VOLUMEN 19 • NUMERO 4
OCTOBER - DECEMBER, 2001 • VOLUME 19 • NUMBER 4

DIVISION I

- 293 Abonos orgánicos y su efecto en propiedades físicas y químicas del suelo y rendimiento en maíz.
Effect of organic fertilizers on physical-chemical soil properties and corn yield.
*José Dimas López-Mtz., Antonio Díaz Estrada,
Enrique Martínez Rubín y Ricardo D. Valdez Cepeda*
- 301 Flujos de nitrógeno en un suelo cultivado con forrajes y regado con agua residual urbana.
Nitrogen fluxes in a soil cropped with forage and irrigated with urban wastewater.
*R. A. Vivanco-Estrada, F. Gavi-Reyes, J. J. Peña-Cabriales y
J. Martínez-Hernández*

DIVISION II

- 309 Producción de frijol, en dos épocas de siembra: Su relación con la evapotranspiración, unidades calor y radiación solar en clima cálido.
Bean production in two planting seasons and their relationship with evapotranspiration, heat units and solar radiation in hot climate.
*J. Alberto Escalante Estrada, L. Enrique Escalante E. y
María Teresa Rodríguez G.*
- 317 Producción de ciruelo con fertirriego en función de contenidos de humedad y coberturas orgánicas.
Plum production with fertigation in function moisture contents and organic mulches.
*Juan José Eduardo del Angel, Leonardo Tijerina Chávez,
Rafael Acosta Hernández y Alfredo López Jiménez*
- 327 Inoculación de bacterias promotoras de crecimiento en lechuga.
Inoculation of plant growth-promoting bacteria in lettuce.
*P. Díaz Vargas, R. Ferrera-Cerrato, J. J. Almaraz-Suárez y
G. Alcántar González*

- 337 Colonización micorrízica arbuscular y fertilización mineral de genotipo de maíz y trigo cultivados en un Andisol.
Arbuscular mycorrhizal colonization and mineral fertilization of corn and wheat genotypes cultivated in an Andisol.
Noé Manuel Montaña Arias, Verónica Quiroz García y Gerardo Cruz-Flores
- 345 Acumulación de coumestrol, daidzeina y genisteina no está relacionada con la senescencia de los nodulos de la corona de la soya.
Accumulation of coumestrol, daidzein, and genistein is not related to soybean crown nodule senescence.
David Espinosa-Victoria y Peter H. Graham
- 353 Producción de biofertilizantes mediante biodigestión de excreta líquida de cerdo.
Biodigestion of hog slurry to produce biomanure.
Manuel de Jesús Soria Fregoso, Ronald Ferrera-Cerrato, Jorge Etchevers Barra, Gabriel Alcántar González, José Trinidad Santos, Lizette Borges Gómez y Gaspar Pereyda Pérez

DIVISION III

- 363 Agregación por especies vegetales y abonos orgánicos en tepetates fracturados en condiciones de invernadero.
Aggregation by plants and manure in fragmented tepetates under greenhouse conditions.
Otilio Acevedo-Sandoval, Alma Velázquez-Rodríguez y David Flores-Román
- 375 Efecto de los factores controlables de la producción sobre el rendimiento y la panza blanca del grano en trigo duro.
Effect of controllable production factors on grain yield and yellow belly in durum wheat.
Ernesto Solís Moya y José Gonzalo Díaz de León Tobias

TERRA

SOCIEDAD MEXICANA DE LA CIENCIA DEL SUELO A.C.

MESA DIRECTIVA 2001-2002

Presidente	Dr. Francisco Gavi Reyes
Vicepresidente	Dra. Ma. Edna Alvarez Sánchez
Secretario General	Dra. Ma. de las Nieves Rodríguez Mendoza
Tesorero	M. Sci. Jesús Gómez Díaz
Secretario Técnico	Dr. Rogelio A. Juárez González
Secretaría de Relaciones Internacionales	Dra. Norma García Calderón
Vocales	M.C. Carlos Tavarez Espinosa Ing. Andrés Espinosa Carmona Dr. Sergio A. Enríquez M.C. Romel de la Garza Dr. Diego González Eguarte

DIVISIONES Y DISCIPLINAS

División I: Diagnóstico, Metodología y Evaluación del Recurso Suelo

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

División II: Relación Suelo - Clima - Biota

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

División III: Aprovechamiento del Recurso Suelo

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

División IV: Educación y Asistencia Técnica

- a) Educación
- b) Crédito y Asistencia Técnica

TERRA registro en trámite.
Órgano Científico de la Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo A.C.
Octubre - Diciembre de 2001 Volumen 19 Número 4

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: +01(5) 954 60 24 Fax: +01(5) 954 80 76
e-mail: smcs@taurus1.chapingo.mx

EDITOR
EDITOR ADJUNTO
EDITORES TÉCNICOS

Dr. Antonio Vázquez Alarcón
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
Dr. Mateo Vargas Hernández
Dra. Carmen Gutiérrez Castorena
Dr. David Espinosa Victoria

EDITORES DE ESTILO

M.C. Jorge Alvarado López
M.C. Langen Corlay Chee
Ina Aalmers de Aguilar
Diane Fumiko Miyoshi Udo

EDITORIA DE ESTILO
EN INGLÉS

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. 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
Dr. Jorge D. Etchevers Barra

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. José Rodríguez	Chile
Dr. Karl Stahr	Alemania
Dr. Bernardo Van Raij	Brasil
Dr. Rafael Villegas	Cuba
Dr. Eduardo Zaffaroni	Brasil

TERRA

MEXICAN SOCIETY OF SOIL SCIENCE

BOARD

President	Dr. Francisco Gavi Reyes
Vicepresident	Dra. Ma. Edna Alvarez Sánchez
Secretary	Dra. Ma. de las Nieves Rodríguez Mendoza
Treasurer	M. Sci. Jesús D. Gómez Díaz
Technical Adviser	Dr. Rogelio A. Juárez González
International Relations	Dra. Norma García Calderón
Voters	M.C. Carlos Tavarez Espinosa Ing. Andrés Espinosa Carmona Dr. Sergio A. Enríquez M.C. Romel de la Garza Dr. Diego González Eguarte

DIVISIONS AND DISCIPLINES

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

- Soil Genesis, Morphology and Classification
- Soil Physics
- Soil Chemistry
- Pollution

Division II: Soil - Climate - Biota Relationship

- Plant Nutrition
- Water - Soil - Plant - Atmosphere Relationship
- Soil Biology
- Technology and Fertilizer Use
- Water Management and Use

Division III: Use of the Soil Resource

- Soil Conservation
- Drainage and Restoration
- Soil Fertility
- Agrosystem Productivity

Division IV: Education and Technical Assistance

- Education
- Credit and Technical Assistance

TERRA Registration pending
Scientific publication of the Mexican Society of Soil Science
October - December, 2001 Volume 19 Num. 4

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: +52 (5) 954 60 24 Fax: +52 (5) 954 80 76
e-mail: smcs@taurus1.chapingo.mx

EDITOR

ASSOCIATE EDITOR

TECHNICAL EDITORS

Dr. Antonio Vázquez Alarcón
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
Dr. Mateo Vargas Hernández
Dra. Carmen Gutiérrez Castorena
Dr. David Espinosa Victoria
M.C. Jorge Alvarado López
M.C. Langen Corlay Chee
Ina Aalmers de Aguilar
Diane Fumiko Miyoshi Udo

STYLE EDITORS

ENGLISH EDITOR

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. 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
Dr. Jorge D. Etchevers Barra

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. José Rodríguez	Chile
Dr. Karl Stahr	Germany
Dr. Bernardo Van Raij	Brazil
Dr. Rafael Villegas	Cuba
Dr. Eduardo Zaffaroni	Brazil

DIVISION IV

- 385** Uso de innovaciones en el Grupo de Ganaderos para la Validación y Transferencia de Tecnología "Joachín", Veracruz, México.
Use of innovation in the "Joachín" Cattle Breeders' Association for the Validation and Transfer of Technology, Veracruz, Mexico.
Guillermo Galindo González

ENSAYO/Essay

- 393** Estrategia de comunicación en el medio rural zacatecano para transferir innovaciones agrícolas.
Communication strategies for the transfer of agriculture innovations in the rural sector of Zacatecas.
Guillermo Galindo González, Héctor Pérez Trujillo, Cuauhtémoc López Mendiola y Agustín Robles Martínez

Indice de autores/ <i>Authors index</i>	399
Indice de revisores/ <i>Reviewers</i>	400
Normas para publicación/ <i>Instructions to authors</i>	401

ABONOS ORGANICOS Y SU EFECTO EN PROPIEDADES FISICAS Y QUIMICAS DEL SUELO Y RENDIMIENTO EN MAIZ

Effect of Organic Fertilizers on Physical-Chemical Soil Properties and Corn Yield

José Dimas López-Mtz.¹, Antonio Díaz Estrada¹, Enrique Martínez Rubin²
y Ricardo D. Valdez Cepeda³

RESUMEN

Los abonos orgánicos se han recomendado en aquellas tierras sometidas a cultivo intenso para mejorar la estructura del suelo; con ello, se aumentan la capacidad de retención de agua y la disponibilidad de nutrimentos para las plantas. Se desarrolló un trabajo con los siguientes objetivos: a) Evaluar el efecto de los abonos orgánicos sobre propiedades físicas y químicas del suelo y b) Seleccionar el abono orgánico que produzca la mejor respuesta sobre rendimiento de grano. Se evaluaron cuatro tratamientos de abonos orgánicos a dosis de 20, 30 y 40 t ha⁻¹ para bovino, caprino y composta, y 4, 8 y 12 t ha⁻¹ para gallinaza, y un testigo con fertilización inorgánica (120-40-00 de N-P-K). Se utilizó el maíz genotipo San Lorenzo, establecido en un diseño bloques al azar con arreglo factorial A*B con tres repeticiones. Las variables que se evaluaron fueron: contenido de humedad, pH, materia orgánica, N, P y rendimiento de grano. Los resultados indican cambios en las características químicas del suelo (materia orgánica, N y P) antes y después de la siembra. En el caso de características físicas, no existió diferencia significativa. El rendimiento de grano con el tratamiento de fertilización inorgánica 120-40-00 de N-P-K fue el mejor (6.05 t ha⁻¹); el abono orgánico de composta (5.66 t ha⁻¹) mostró similares resultados. Los abonos orgánicos, principalmente composta con dosis de 20 a 30 t ha⁻¹, son una alternativa para sustituir a la fertilización inorgánica.

¹ Facultad de Agricultura y Zootecnia, Universidad Juárez del Estado de Durango. Apartado Postal 142, 35000 Gómez Palacio, Durango, México. (joshua@teleinfo.net.mx.)

² Instituto Tecnológico Agropecuario de la Laguna No. 10. Apartado Postal 3F, 27000 Torreón, Coahuila, México.

³ Universidad Autónoma Chapingo. Centro Regional Universitario Centro Norte. Apartado Postal 196, 98001 Zacatecas, Zacatecas, México.

Recibido: Octubre de 2000. Aceptado: Julio de 2001.
Publicado en Terra 19: 293-299.

Palabras clave: Estructura del suelo, estiércoles, composta.

SUMMARY

Organic compounds have been recommended for use as fertilizers (manure, compost, and crop residues) in soil under intensive crop production systems to improve structure and thus increase moisture retention and availability of nutrients for plants. The objectives of this study were a) to evaluate the main effect of organic fertilizers on the physical and chemical properties of soil and b) to select the best organic fertilizer for maize based on response in terms of grain yield. Four treatments consisting of different dosages of organic fertilizers were evaluated: 20, 30, and 40 t ha⁻¹ compost and bovine and goat manure, 4, 8, and 12 t ha⁻¹ poultry manure, and a control using chemical fertilizer (120-40-00 N-P-K). The maize genotype used was 'San Lorenzo'. A random block design with an A*B factorial array with three replications was used. The variables evaluated were soil moisture, soil pH, organic matter N, P, and grain yield. The results showed that changes in soil chemical properties (organic matter, nitrogen, phosphorus) occur. However, there were no statistical differences in physical characteristics. The treatment with chemical fertilizer produced the highest grain yield (6.05 t ha⁻¹). The compost treatment showed similar results (5.66 t ha⁻¹). Organic fertilizers, especially compost at a rate of 20 to 30 t ha⁻¹, are an alternative for the substitution of inorganic fertilizer.

Index words: Soil structure, manure, compost.

INTRODUCCION

Durante la Revolución Verde en México, la práctica general sobre la fertilización al suelo se concentraba en aplicar fertilizantes químicos de nitrógeno y fósforo, marginando a los abonos orgánicos, que fueron la base y sustento de la agricultura por siglos (Arredondo, 1996).

Los abonos orgánicos se han usado desde tiempos remotos y su influencia sobre la fertilidad de los suelos se ha demostrado, aunque su composición química, el aporte de nutrimentos a los cultivos y su efecto en el suelo varían según su procedencia, edad, manejo y contenido de humedad (Romero *et al.*, 2000). Además, el valor de la materia orgánica que contiene ofrece grandes ventajas que difícilmente pueden lograrse con los fertilizantes inorgánicos (Castellanos, 1980).

En la actualidad, la estructura del suelo es el factor principal que condiciona la fertilidad y productividad de los suelos agrícolas; someter el terreno a un intenso laboreo y compresión mecánica tiende a deteriorar la estructura. Los abonos orgánicos (estiércoles, compostas y residuos de cosecha) se han recomendado en aquellas tierras sometidas a cultivo intenso para mantener y mejorar la estructura del suelo, aumentar la capacidad de retención de humedad y facilitar la disponibilidad de nutrimentos para las plantas (Castellanos, 1982). En consideración a lo anterior, los objetivos del trabajo fueron: a) Evaluar el impacto de los abonos orgánicos sobre propiedades físicas y químicas del suelo y b) Seleccionar el abono orgánico con mejor respuesta en rendimiento de grano.

REVISION DE LITERATURA

Rubio (1977) mencionó que en la Comarca Lagunera se producen anualmente 483 260 t de estiércol de bovino y 70 445 t de gallinaza en base seca. Esta cantidad sería suficiente para aplicar la formulación 120-70-50 de nitrógeno, fósforo y potasio (N, P y K) respectivamente, a 42 502 ha anualmente, con lo que se podría reducir la aplicación de fertilizantes químicos. Sin embargo, por el escaso conocimiento que los estableros y usuarios tienen de este subproducto, existe una gran variabilidad en la utilización del estiércol como fertilizante químico, siendo apremiante el realizar investigaciones que permitan utilizar eficientemente este subproducto en la agricultura.

Wade (1983) encontró que en cinco tratamientos con especies forrajeras (Kudzu, pastos, mulch de kudzu, mulch de pastos y fertilización inorgánica) la incorporación de abonos orgánicos y cubiertas (mulch) de Kudzu y pastos alcanzaron rendimientos de 90 y 81% en comparación con lo obtenido en tratamientos fertilizados.

MATERIALES Y METODOS

El trabajo se estableció en el ejido Venecia, municipio de Gómez Palacio, Durango, durante la primavera de 1998. Este ejido se ubica en el km 30 de la carretera Gómez Palacio-Tlahualilo, entre 25°46' 56" N y 103°21' 02" O.

Características Climáticas

El sitio tiene una altitud de 1150 m, el clima es seco desértico con precipitación media anual de 242.8 mm, la temperatura media anual es 20.9 °C. El periodo comprendido entre mayo y agosto es el más caluroso del año, y diciembre y enero son los más fríos. El promedio de heladas en un año es de 24, la primera se presenta en noviembre o diciembre y la última en febrero o marzo, con un periodo libre de heladas de abril a octubre; ello refleja que la atmósfera de la región es relativamente seca.

Características Edáficas

En la región Lagunera, se reconocen once series de suelo que derivan su nombre de la localidad donde primero se encontraron; las series de mayor importancia son: Coyote, San Ignacio, San Pedro, Concordia y Santiago.

La serie Coyote es la más importante en la región, tanto por la superficie que cubre (98 218 ha), como por las características físico-químicas (Ramírez, 1976). En importancia le siguen: Zaragoza (68 000 ha), San Pedro (65 000 ha), San Ignacio (56 000 ha) y Tlahualilo (20 000 ha); existen otras series cuya superficie no llega a 20 000 ha, como son Noé, Gómez Palacio, Concordia y Santiago.

Estos suelos varían en textura desde arcillosas en la serie Zaragoza, migajones arcillosos en Coyote, hasta migajones-arenosos y arenosos en la serie San Pedro. En consecuencia, se observa variabilidad en la retención de agua y disponibilidad de nutrimentos debido a las características de los suelos.

Conducción del Experimento

Se evaluaron cuatro abonos orgánicos (estiércol de bovino, caprino, gallinaza y composta), las dosis fueron 20, 30 y 40 t ha⁻¹ para bovino, caprino y composta y 4, 8 y 12 t ha⁻¹ para gallinaza y un testigo con fertilización 120-40-00 de nitrógeno, fósforo y

potasio (N-P-K), respectivamente. El diseño experimental fue en bloques al azar con arreglo factorial A*B con tres repeticiones (Olivares, 1996); la planta indicadora fue maíz genotipo San Lorenzo.

Variables Evaluadas

En planta se evaluó rendimiento de grano, mientras que en suelo: contenido de humedad, capacidad de campo (CC), porcentaje de marchitamiento permanente (PMP), humedad aprovechable (HA), composición granulométrica, nitrógeno (N), fósforo (P), potasio (K), % materia orgánica (MO), conductividad eléctrica (CE), calcio (Ca), magnesio (Mg), sodio (Na), pH del suelo, y composición química de abonos orgánicos.

Abonos Orgánicos

Composta. Los desperdicios de vegetales (productos biodegradables) que se recolectaron en el basurero de Gómez Palacio, Durango. Se trasladaron al campo agrícola de la Facultad de Agricultura y Zootecnia, Universidad Juárez del Estado de Durango, donde se llevo a cabo el proceso de composteo para lo cual se le añadieron residuos de cosecha y estiércol; este proceso se inició el 8 de enero de 1998; se humedeció y volteó el material dos veces por semana hasta marzo (tres meses).

Suelo. Antes de la fecha de siembra (30 días) se tomaron muestras del suelo a una profundidad de 0 a 30 y de 30 a 60 cm; de ambas profundidades se generó una muestra compuesta de cada tratamiento para el análisis físico-químico; el procedimiento se repitió a 60 días después de la siembra; las muestras se analizaron para evaluar las características físicas y químicas al inicio y final del ciclo.

Riego. El riego de presiembra se realizó el 8 de abril; después de cada riego de auxilio se midió semanalmente el contenido de humedad del suelo, en cada uno de los tratamientos. Los riegos y labores de cultivo se realizaron de acuerdo con la Guía Técnica la Laguna (1984).

Análisis estadístico. Se utilizó un análisis de varianza y las diferencias de los tratamientos se evaluaron al valor de significancia de 5%; además, se empleó una prueba de comparación de medias por Tukey para evaluar el mejor tratamiento para rendimiento de grano.

RESULTADOS Y DISCUSION

En los Cuadros 1 y 2 se presentan los valores de las propiedades físicas evaluadas antes y después de la aplicación de los abonos orgánicos en el suelo. En dichos cuadros comparativos se observa que CC, PMP y HA mostraron cambios en los valores antes y después de la aplicación; los valores después de la aplicación fueron 10% mayores. Lo anterior es corroborado por Castellanos (1980, 1982) quien observó que el contenido de humedad aumenta debido a prácticas de aplicación de abonos orgánicos, ya que disminuye la densidad aparente; se incrementa la porosidad y se modifica la estructura al mejorar la formación de agregados, todo ello influye en un aumento en la retención de humedad.

Con relación a características químicas, los Cuadros 3 y 4 muestran que en MO hubo cambios en los tratamientos en 15%, los valores después de la siembra fueron mayores; se observó igual comportamiento con nitratos y fósforo. Esto se debe a que los abonos orgánicos liberan nutrimentos durante su mineralización (Cuadro 5). También se aprecia, en el mismo cuadro, que el estiércol de bovino, caprino y composta incorporaron cantidades similares de N, P y Ca (1.8, 0.14, 2.5; 2.0, 0.14, 2.4; 1.5, 0.11, 3.5, respectivamente), no así gallinaza que aportó un promedio de 30% más de N y Ca que los otros abonos. Sin embargo, no se registraron cambios significativos en pH, CE, Ca, Mg, Na y K. Lo anterior indica que el efecto de los abonos orgánicos fue sobre el aumento de MO, N y P.

Contenido de Humedad en el Suelo

Los datos de humedad del Cuadro 6 se utilizaron para efectuar el análisis de varianza; dicho análisis señala que no existe diferencia significativa en esta variable para tratamientos de abonos orgánicos (Factor A) y dosis (Factor B); es decir, que el efecto sobre el contenido de humedad del suelo produce una respuesta igual. A pesar de que estadísticamente no hubo diferencias entre tratamientos, sí hubo incrementos en el contenido de humedad del suelo como se aprecia en los Cuadros 1 y 2, en valores hasta 10%. Esto concuerda con las Figuras 1 y 2, en las cuales se aprecia el contenido de humedad para cada uno de los tratamientos de abonos orgánicos en tres repeticiones el 17 de junio y 30 de junio. En las demás fechas evaluadas hasta la cosecha, el comportamiento fue similar.

Cuadro 1. Características físicas del suelo en el estrato de 0 a 30 cm antes de la siembra. Venecia, Durango. 1998.

Tratamiento	Arena	Limo	Arcilla	Textura ¹	CC ²	PMP	HA
	%						
A1B1 [§]	38.00	42.00	20.00	Franco	32.7	17.7	15.0
A1B2	38.96	42.00	19.04	Franco	26.7	14.5	12.2
A1B3	38.96	41.00	20.04	Franco	32.7	17.7	15.0
A2B1	38.96	42.00	19.04	Franco	26.7	14.5	12.2
A2B2	22.00	27.50	50.50	Arcilloso	32.7	17.7	15.0
A2B3	23.50	28.00	48.50	Arcilloso	45.7	24.5	21.2
A3B1	22.50	27.50	50.00	Arcilloso	32.7	17.7	15.0
A3B2	38.96	42.00	19.04	Franco	26.7	14.5	12.2
A3B3	40.00	42.00	18.00	Franco	32.7	17.7	15.0
A4B1	38.96	40.00	21.04	Franco	26.7	14.5	12.2
A4B2	38.96	42.00	19.04	Franco	32.7	17.7	15.0
A4B3	38.96	42.00	19.04	Franco	26.7	14.5	12.2

¹ Fuente SARH (1988). ² CC = capacidad de campo. PMP = porcentaje de marchitamiento permanente. HA = humedad aprovechable.

[§] A = tratamientos de fertilización orgánica (A1 = bovino; A2 = caprino; A3 = composta; A4 = gallinaza).

B = dosis (B1 = 20, B2 = 30, B3 = 40 t ha⁻¹ para bovino, caprino y composta; B1 = 4, B2 = 8 y B3 = 12 t ha⁻¹ para gallinaza).

Cuadro 2. Características físicas del suelo en el estrato de 30 cm después de la aplicación de abonos orgánicos. Venecia, Durango. 1998.

Tratamiento	Arena	Limo	Arcilla	Textura ¹	CC ²	PMP	HA
	%						
A1B1 [§]	42.56	38.0	19.44	Franco	26.8	14.5	12.3
A1B2	40.56	38.0	21.44	Franco	29.2	15.8	13.4
A1B3	40.20	38.0	21.80	Franco	29.2	15.8	13.4
A2B1	38.56	40.0	21.44	Franco	30.0	16.3	13.7
A2B2	22.56	27.44	50.0	Arcilloso	31.2	16.9	14.3
A2B3	22.56	27.44	50.0	Arcilloso	46.2	25.1	21.1
A3B1	24.20	29.8	46.0	Arcilloso	32.1	17.4	14.7
A3B2	30.56	44.0	25.44	Franco	28.4	15.4	13.0
A3B3	34.92	42.0	23.08	Franco	32.5	17.6	14.9
A4B1	39.28	40.0	20.72	Franco	28.7	15.5	13.2
A4B2	38.56	38.0	23.44	Franco	29.8	16.1	13.7
A4B3	34.92	42.0	23.08	Franco	30.5	16.5	14.0

¹ Fuente SARH (1988). ² CC = capacidad de campo. PMP = porcentaje de marchitamiento permanente. HA = humedad aprovechable.

[§] A = tratamientos de fertilización orgánica (A1 = bovino; A2 = caprino; A3 = composta; A4 = gallinaza).

B = dosis (B1 = 20, B2 = 30, B3 = 40 t ha⁻¹ para bovino, caprino y composta; B1 = 4, B2 = 8 y B3 = 12 t ha⁻¹ para gallinaza).

Cuadro 3. Características químicas del suelo en el estrato de 0 a 30 cm antes de la siembra. Venecia, Durango. 1998.

Tratamiento	pH	MO ¹	CE	Cationes solubles				NO ₃	P
				Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺		
				meq L ⁻¹					
A1B1 [†]	8.4	0.96	1.94	4.4	7.0	10.26	1.36	4.0	1.5
A1B2	8.2	0.62	1.76	5.2	6.8	9.21	1.25	7.0	4.0
A1B3	8.4	0.96	1.94	4.6	9.4	9.26	1.36	4.0	1.5
A2B1	8.2	0.62	1.76	5.2	6.8	10.0	1.25	7.0	4.0
A2B2	8.4	0.96	1.94	5.0	7.4	7.26	1.36	4.0	1.5
A2B3	8.2	0.62	1.76	5.2	6.8	6.21	1.25	7.0	4.0
A3B1	8.4	0.96	1.94	5.4	7.4	8.26	1.36	4.0	1.5
A3B2	8.2	0.62	1.76	5.2	6.8	7.20	1.25	7.0	4.0
A3B3	8.4	0.96	1.94	4.9	7.4	10.26	1.36	4.0	1.5
A4B1	8.2	0.62	1.76	5.2	6.8	6.21	1.25	7.0	4.0
A4B2	8.4	0.96	1.94	6.8	5.9	7.96	1.36	4.0	1.5
A4B3	8.2	0.62	1.76	5.2	6.8	7.6	1.25	7.0	4.0

¹ MO = materia orgánica. CE = conductividad eléctrica. [†] A = tratamientos de fertilización orgánica (A1 = bovino; A2 = caprino; A3 = composta; A4 = gallinaza). B = dosis (B1 = 20, B2 = 30, B3 = 40 t ha⁻¹ para bovino, caprino y composta; B1 = 4, B2 = 8 y B3 = 12 t ha⁻¹ para gallinaza). pH = relación agua-suelo (1:1).

Cuadro 4. Características químicas del suelo en el estrato de 0 a 30 cm al final del ciclo de siembra. Venecia, Durango. 1998.

Tratamiento	pH	MO [†]	CE	Cationes solubles					
				Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	NO ₃ ⁻	P
		%	dS m ⁻¹	meq L ⁻¹					
A1B1 [†]	8.31	1.2	2.2	9.6	4.6	9.4	1.2	23.0	20.0
A1B2	8.48	1.3	2.1	4.0	5.9	8.6	1.3	20.0	16.4
A1B3	8.47	1.5	2.2	5.6	8.7	9.5	1.25	26.0	20.0
A2B1	8.49	1.3	2.0	6.4	7.3	9.0	1.3	19.0	18.4
A2B2	8.50	1.5	2.2	6.8	6.3	8.1	1.1	29.0	19.0
A2B3	8.39	1.1	1.9	4.2	6.4	7.2	1.2	28.0	16.0
A3B1	8.29	1.2	2.2	5.8	8.0	7.0	1.3	27.0	20.0
A3B2	8.30	1.15	2.1	7.2	4.0	8.2	1.2	26.0	22.0
A3B3	8.28	1.3	2.2	5.4	6.2	8.5	1.3	27.0	20.0
A4B1	8.16	1.1	2.0	5.6	6.0	7.9	1.2	27.0	15.0
A4B2	8.05	1.1	2.1	7.6	7.2	8.0	1.2	26.0	20.4
A4B3	8.28	1.3	2.2	6.6	7.2	7.0	1.2	27.0	19.4

[†] MO = materia orgánica. CE = conductividad eléctrica. [†] A = tratamientos de fertilización orgánica (A1 = bovino; A2 = caprino; A3 = composta; A4 = gallinaza). B = dosis (B1 = 20, B2 = 30, B3 = 40 t ha⁻¹ para bovino, caprino y compost; B1 = 4, B2 = 8 y B3 = 12 t ha⁻¹ para gallinaza). pH = relación agua-suelo (1:1).

Cuadro 5. Contenido de N, P y Ca en los abonos orgánicos. Venecia, Durango. 1998.

	Nitrógeno	Fósforo	Calcio
	%		
Bovino	1.8	0.14	2.5
Caprino	2.0	0.14	2.4
Composta	1.5	0.11	3.5
Gallinaza	2.8	0.90	5.2

Cuadro 6. Valores de humedad del suelo por tratamiento de abonos orgánicos en maíz. Venecia, Durango. 1998.

A [†]	B [†]	Repeticiones		
		1	2	3
	t ha ⁻¹	%		
Bovino	20	14.20	18.9200	6.5000
Bovino	30	12.3000	13.4000	12.6500
Bovino	40	13.3000	18.3500	12.9000
Caprino	20	14.5000	13.3000	12.1000
Caprino	30	12.9500	13.3000	8.5500
Caprino	40	14.2000	12.0000	13.7500
Composta	20	12.3000	15.7000	8.8000
Composta	30	15.0000	10.8000	11.4000
Composta	40	12.9000	16.0000	14.5000
Gallinaza	4	18.2000	11.5000	16.3000
Gallinaza	8	12.2000	10.1000	15.0000
Gallinaza	12	10.1000	12.9000	12.1800
Testigo	120-40-00	10.0500	11.5400	12.4500
Testigo	120-40-00	9.8500	10.6500	14.5600
Testigo	120-40-00	14.2300	8.4500	13.5800

[†] A = tratamientos de fertilización orgánica (A1 = bovino; A2 = caprino; A3 = composta; A4 = gallinaza).

[†] B = dosis (B1 = 20, B2 = 30, B3 = 40 t ha⁻¹ para bovino, caprino y composta; B1 = 4, B2 = 8 y B3 = 12 t ha⁻¹ para gallinaza).

Testigo = 120-40-00 de N-P-K.

En las Figuras 1 y 2, se observa que el tratamiento de composta en la dosis 40 t ha⁻¹, es el que mejor retuvo y conservó la humedad a través del tiempo. Esto coincide con Rubio (1974), quien encontró que la adición de abono orgánico (estiércol o composta) incrementa la humedad disponible de los suelos que se humificaron en 10 a 20%.

Cuadro 7. Valores de rendimiento de grano por tratamiento de abonos orgánicos en maíz. Venecia, Durango. 1998.

A [†]	B [†]	Repeticiones		
		1	2	3
	t ha ⁻¹	t ha ⁻¹		
Bovino	20	1.7230	2.0100	4.1600
Bovino	30	8.5200	3.6000	4.7000
Bovino	40	6.1500	4.7300	3.5500
Caprino	20	3.6710	2.0200	1.8700
Caprino	30	6.1800	4.7600	1.2700
Caprino	40	3.2700	2.9100	5.4800
Composta	20	5.1700	2.4400	6.0000
Composta	30	5.9700	6.3600	5.6500
Composta	40	4.2260	8.2800	6.9000
Gallinaza	4	3.8300	4.1900	4.4200
Gallinaza	8	3.8380	8.0600	5.1700
Gallinaza	12	1.0300	6.9500	4.4200
Testigo	120-40-00	4.9500	6.4300	4.5600
Testigo	120-40-00	5.2800	5.6200	6.3400
Testigo	120-40-00	7.6000	6.7800	6.8900

[†] A = tratamientos de fertilización orgánica (A1 = bovino; A2 = caprino; A3 = composta; A4 = gallinaza).

[†] B = dosis (B1 = 20, B2 = 30, B3 = 40 t ha⁻¹ para bovino, caprino y composta; B1 = 4, B2 = 8 y B3 = 12 t ha⁻¹ para gallinaza).

Testigo = 120-40-00 de N-P-K.

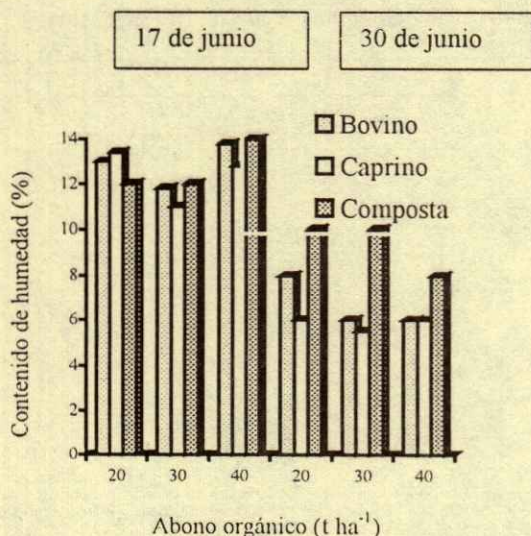


Figura 1. Contenido de humedad en los tratamientos de abonos orgánicos en maíz. Venecia, Durango. 1998.

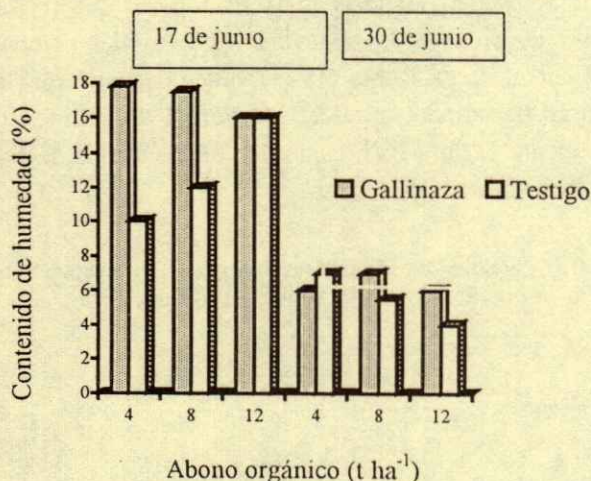


Figura 2. Contenido de humedad en los tratamientos de gallinaza y testigo en maíz. Venecia, Durango. 1998.

Rendimiento de Grano

Los valores de rendimiento de grano (Cuadro 7) se usaron para realizar el análisis de varianza (Cuadro 8). En este cuadro se observa que existe diferencia significativa entre tratamientos, los tratamientos ocasionaron efectos diferentes sobre el rendimiento. Al realizar la prueba de comparación de medias (Cuadro 9) se observa que el tratamiento de fertilización química (120-40-00 de N-P-K) presentó el rendimiento más alto de grano (6.05 t ha⁻¹), siguiendo, en orden de importancia, la composta

Cuadro 8. Análisis de varianza para rendimiento de grano por tratamiento de abonos orgánicos en maíz. Venecia, Durango. 1998.

FV	GL	SC	CM	F	P>F
Repeticiones	2	0.625244	0.312622	0.1041	0.901
Factor A	4	38.152588	9.538147	3.1755	0.028 *
Factor B	2	23.259766	11.629883	3.8719	0.032 *
Interacción	8	11.302612	1.412887	0.4704	0.867 ns
Error	28	84.103149	3.003684		
Total	44	157.443359			

* = diferencia significativa al 0.05. ns = no significancia. CV = 35.12%.

(5.66 t ha⁻¹); no hubo diferencia estadística significativa entre ambos.

En lo referente a las dosis, el Cuadro 9 muestra que 20 y 30 t ha⁻¹ fueron las mejores. Esto coincide parcialmente con Romero (1989), quien encontró que para maíz las dosis variaron de 30 a 50 t ha⁻¹ para estiércol bovino, y de 5 a 8 t ha⁻¹ para gallinaza, similares a los resultados de este trabajo para gallinaza (4 a 8 t ha⁻¹) y bovino (20 a 30 t ha⁻¹). Además, Pratt *et al.* (1973) y Magdoff (1978) mencionaron que la dosis de aplicación de estiércoles y composta depende del tipo de suelo, del cultivo y de las características del abono orgánico.

Los resultados anteriores también muestran que los abonos orgánicos son una alternativa para sustituir la fertilización inorgánica. Esto se debe a que los abonos orgánicos abastecen al suelo de nutrimentos como el N y los demás elementos esenciales que contiene la composta (Cuadro 5). Esto coincide con lo señalado por Castellanos *et al.* (1996) y Barber *et al.* (1992), quienes reportaron que los estiércoles se mineralizan en 70% a partir del primer año de aplicación y con efecto residual en el suelo hasta por dos años y el resto se transforma en humus, que se incorpora al suelo y produce un efecto benéfico en la estructura del suelo durante el primer año.

Cuadro 9. Comparación de medias para rendimiento de grano en maíz para tratamientos (Factor A) y dosis de abonos orgánicos (Factor B). Venecia, Durango. 1998.

Factor A	Medias t ha ⁻¹	Factor B	Medias
Fertilización química	6.0500 a	20 t ha ⁻¹	5.4212 a
Composta	5.6667 ab	30 t ha ⁻¹	5.2777 ab
Gallinaza	4.6556 ab	40 t ha ⁻¹	3.8296 b
Bovino	4.3489 ab		
Caprino	3.4912 b		

* medias con letras iguales en columna indican no diferencia significativa (Tukey 0.05).

Las respuestas en rendimiento concuerdan también con Castellanos (1980), quien mencionó que el estiércol incrementó la producción de sorgo para grano (*Sorghum bicolor*); sin embargo, dosis excesivamente altas disminuyen el crecimiento y la producción de sorgo. Cuando se aplicó estiércol a dosis de 22 t ha⁻¹, el sorgo de grano de riego produjo altos rendimientos. Las dosis de estiércol de 67 y 134 t ha⁻¹ no redujeron significativamente la producción de grano. Por otro lado, cuando el estiércol se aplicó a 268 ó 536 t ha⁻¹, el rendimiento se redujo drásticamente.

CONCLUSIONES

- A pesar de no existir diferencia estadística, se apreció un incremento aproximadamente de 10% del contenido de humedad del suelo para cada tratamiento antes y después de la aplicación de los abonos orgánicos; se observa que la composta a 20 t ha⁻¹ presentó la mejor respuesta.
- El tratamiento de fertilización química (120-40-00 de N-P-K) fue el sobresaliente con promedio de (6.05 t ha⁻¹ para rendimiento de grano); similares resultados se observaron para el abono orgánico de composta (5.66 t ha⁻¹), fueron superiores a gallinaza (4.65 t ha⁻¹), bovino (4.34 t ha⁻¹) y caprino (3.49 t ha⁻¹). Las dosis de abono orgánico de 20 y 30 t ha⁻¹ fueron las que mejoraron el rendimiento de grano.
- Se sugiere trabajar en el mediano plazo con abonos orgánicos de composta y gallinaza en las dosis de 20 a 30 y 4 a 8 t ha⁻¹, respectivamente; con ellos se han obtenido los mejores resultados y de tenerlas como una alternativa a la sustitución o reducción de la fertilización inorgánica.

LITERATURA CITADA

- Arredondo V., C. 1996. Aplicación de estiércol bovino como complemento a la fertilización química del maíz de temporal. p. 194. In: Memorias del XXVII Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo. Cd. Obregón, Sonora, México.
- Barber, K.L., L.D. Maddux, D.E. Kissel, G.M. Pierzynski y B.R. Bock. 1992. Corn responses to ammonium and nitrate-nitrogen fertilization. Soil Sci. Soc. Am. J. 56: 1166-1171.
- Castellanos R., J.Z. 1980. El estiércol como fuente de nitrógeno. Seminarios Técnicos 5(13). Instituto Nacional de Investigaciones Forestales y Agropecuarias-Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos. Torreón, Coahuila, México.
- Castellanos R., J.Z. 1982. La importancia de las condiciones físicas del suelo y su mejoramiento mediante la aplicación de estiércoles. Seminarios Técnicos 7(8): 32. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales y Agropecuarias-Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos. Torreón, Coahuila, México.
- Castellanos R., J.Z., J. Etchevers B., A. Aguilar S. y R. Salinas J. 1996. Efecto de largo plazo de la aplicación de estiércol de ganado lechero sobre el rendimiento de forrajes y las propiedades de un suelo en una región irrigada del norte de México. Terra 14: 151-158.
- Guía Técnica la Laguna. 1984. Paquete tecnológico para el cultivo de maíz en la Comarca Lagunera. Centro de Investigación Agrícola del Noreste-Instituto Nacional de Investigaciones Forestales y Agropecuarias. Torreón, Coahuila, México.
- Magdoll, F.R. 1978. Influence of manure application rates and continuous corn on soil-N. Agron. J. 70: 629-632.
- Olivares S., E. 1996. Diseños experimentales con aplicación a la experimentación agrícola y pecuaria. Facultad de Agronomía, Universidad Autónoma de Nuevo León. Marín, Nuevo León, México.
- Pratt, P.F., F.E. Broadbert y J.P. Martin. 1973. Using organic wastes as nitrogen fertilizer. Calif. Agric. 27: 10-13.
- Ramírez C., J. 1976. Características generales de las series de suelos en la Región Lagunera (Coahuila-Durango). Distrito de Riego 17. Secretaría de Recursos Hidráulicos. Torreón, Coahuila, México.
- Romero F., E. 1989. Efecto de los estiércoles sobre la calidad del agua y del suelo. Seminarios Técnicos 6(12): 270. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales y Agropecuarias-Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos. Gómez Palacio, Durango, México.
- Romero L., María del R., A. Trinidad S., R. García E. y R. Ferrara C. 2000. Producción de papa y biomasa microbiana en suelo con abonos orgánicos y minerales. Agrociencia 34: 261-269.
- Rubio M., D. 1974. Evaluación de residuos orgánicos estabilizados (compost) obtenidos en el basurero de Monterrey, N.L desde el punto de vista de su utilización agrícola. Seminarios Técnicos 1(1): 13. Centro de Investigación Agrícola del Noreste-Instituto Nacional de Investigaciones Forestales y Agropecuarias. Torreón, Coahuila, México.
- Rubio M., D. 1977. La utilización del estiércol en la agricultura y su uso potencial en la Comarca Lagunera. Seminarios Técnicos 4 (5): 22. Centro de Investigación Agrícola del Noreste-Instituto Nacional de Investigaciones Forestales y Agropecuarias. Torreón, Coahuila, México.
- SARH. Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos. 1988. Instructivo para análisis de suelos. Subsecretaría de Desarrollo y Fomento Agropecuario y Forestal. Edición preliminar para revisión. Chapingo, México.
- Wade, M.K. 1983. Mulching and green manure applications for continuous crop production in the Amazon basin. Agron. J. 75: 39-45.

FLUJOS DE NITROGENO EN UN SUELO CULTIVADO CON FORRAJES Y REGADO CON AGUA RESIDUAL URBANA

Nitrogen Fluxes in a Soil Cropped with Forage and Irrigated with Urban Wastewater

R.A. Vivanco-Estrada¹, F. Gavi-Reyes¹, J.J. Peña-Cabriales² y J. de J. Martínez-Hernández¹

RESUMEN

El uso de aguas residuales urbanas como fuente de N para los cultivos forrajeros en el valle del Mezquital se practica desde 1900, pero su impacto en el ambiente no se ha reportado. El objetivo del presente estudio fue cuantificar los flujos del N del agua residual aplicada a suelos cultivados con forrajes e irrigados por diferentes años. Se realizó un ensayo de invernadero usando columnas inalteradas de suelo de la región, en las cuales se cultivó maíz forrajero. Dichas columnas se diseñaron para medir la volatilización y la mineralización del N *in situ*. Para medir la absorción de N por la planta, se empleó sulfato de amonio marcado (¹⁵N). Además, en el laboratorio se determinó la desnitrificación, fijación de amonio y mineralización potencial. La desnitrificación (197.6 kg de N ha⁻¹ ciclo⁻¹) y volatilización (18.6 kg de N ha⁻¹ ciclo⁻¹) representó la cantidad mayor de N que aquella total absorbida por el maíz (126.3 kg de N ha⁻¹). La absorción de N del agua residual fue sólo de 4% del N acumulado por el cultivo. No se detectó lixiviación de nitratos, pero sí se encontró una acumulación en la parte inferior de las columnas. La pérdida gaseosa de N del suelo aumentó con el número de años con riego con agua residual.

Palabras clave: Desnitrificación, volatilización, maíz, Valle del Mezquital, ambiente.

SUMMARY

The use of urban wastewater as source of N for forage crops in the Mezquital Valley has been practiced since 1900, but its environmental impact has not yet been evaluated. The objective of this research

was to quantify the flux of N of urban wastewater applied to a soil cultivated with forage and irrigated with different periods of irrigation. A greenhouse experiment was conducted using undisrupted soil columns collected in the valley. The samples were taken from forage maize field. These columns were adapted to evaluate volatilization and *in situ* mineralization. ¹⁵N was used to assess the N amount absorbed by plant. Furthermore, denitrification, ammonium fixation, and potential mineralization were determined in the laboratory. Denitrification (197.6 kg ha⁻¹ cycle⁻¹) and volatilization (18.6 kg ha⁻¹ cycle⁻¹) were larger than total N recovery by maize (126.3 kg ha⁻¹ cycle⁻¹). Wastewater N absorbed by the plants represented less than 4% of total N accumulated by the crop. Nitrate lixiviation was not detected, but nitrate accumulation was detected in the lower part of the columns. N gaseous loss from soil increased with the number of years under wastewater irrigation.

Index words: Denitrification, volatilization, maize, Mezquital Valley, environment.

INTRODUCCION

En el valle del Mezquital, ubicado en el estado de Hidalgo, existe la más grande y vieja región agrícola irrigada con agua residual urbana en el mundo (DFID, 1998). Dicha agua proviene de la ciudad de México y área conurbana y constituye la fuente principal de agua para el desarrollo agrícola del valle, el cual se ve limitado en su disponibilidad de agua de primer uso.

El área irrigada total del valle del Mezquital tiene una extensión aproximada de 100 000 ha, que se abastecen de aguas residuales (5 x 10⁻⁷ m³ año⁻¹) o con una mezcla de agua residual y agua de lluvia. La aplicación total de agua varía de 1500 a 2000 mm ha⁻¹ año⁻¹, de acuerdo con los requerimientos del cultivo, textura del suelo, profundidad y disponibilidad de agua a lo largo del año.

Considerando que las aguas residuales pueden tener un contenido de N de 20 a 40 mg L⁻¹, se estima

¹ Colegio de Postgraduados, 56230 Montecillo, Edo. de México. (gavi@colpos.colpos.mx)

² CINVESTAV-Irapuato, km 9.6 del Libramiento Norte de la Carr. Irapuato-León. 36500 Irapuato, Guanajuato. (jpena@ira.cinvestav.mx)

que un cultivo al que se aplica en el riego un total de $5000 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$, recibe una dosis de 100 a 200 kg N ha^{-1} . Estas cantidades pueden cubrir y, en algunos casos, rebasar las necesidades de N de un cultivo, lo cual disminuye la calidad y producción de éste (Bouwer e Idelovitch, 1987).

Un problema del aporte de N por el agua residual es que las demandas de N y de agua no siempre coinciden con los requerimientos del cultivo. El exceso de N, además de ser perjudicial para las plantas, puede gasificarse (desnitrificación y volatilización) y contribuir al efecto invernadero, la destrucción de la capa de ozono y la lluvia ácida, o lixiviarse en forma de nitrato y contaminar las aguas subterráneas, además de constituir una pérdida económica (Ramos, 1997).

Existen diversos estudios sobre la dinámica del N proveniente del fertilizante, materia orgánica (MO) del suelo y estiércol; sin embargo, el N de las aguas residuales usadas en la agricultura se ha menos estudiado.

El objetivo de este estudio fue cuantificar el N en las diferentes tasas que sigue en los sistemas irrigados con aguas residuales por diferentes periodos.

MATERIALES Y METODOS

La dinámica del N se determinó en laboratorio e invernadero, usando suelos colectados en sitios con diferente años de riego con agua residual: Tetepango, Teocalco y Tlaxcoapan con 0, 40 y 80 años, respectivamente, dentro del distrito de riego (DR) 03 ubicado en el valle del Mezquital, estado de Hidalgo.

En laboratorio se determinó la fijación de amonio y desnitrificación, mientras que en invernadero, con el uso de columnas inalteradas de suelo, se evaluaron la lixiviación, volatilización y mineralización *in situ*, además de la absorción de N por el maíz proveniente del agua residual.

Ensayo de Laboratorio

Las muestras de suelo utilizadas en los ensayos de laboratorio se colectaron el 2 de diciembre de 1999, el suelo se secó al aire y, posteriormente, se tamizó a malla 20, para ser almacenado a 4°C hasta el momento de la determinación.

Fijación de NH_4^+ . El procedimiento que se siguió fue el propuesto por Marzadori *et al.* (1993), que consiste en la destrucción de la MO con NaOCl 3M y de la matriz mineral del suelo (Bremner, 1965), agregando

al suelo una mezcla de HF 5N y HCl 1N y agitando por 48 horas. A esta mezcla de suelo y ácido se le adicionó KOH 1N para liberar el amonio adsorbido y después proceder a su cuantificación por arrastre de vapor. Las fracciones determinadas fueron: a) nativa, con el uso de una muestra de suelo sin adición de amonio (testigo), la cual representa el amonio presente de manera natural y b) recientemente fijada, por medio de la diferencia entre la muestra testigo y aquella de suelo a la que se le adicionó amonio, que constituye la cantidad fijada después de la aplicación de amonio en solución. La fracción total se determinó mediante la suma de las fracciones antes mencionadas. Cada uno de los tratamientos se analizó por triplicado.

Desnitrificación. El potencial de desnitrificación se determinó con un procedimiento de incubación (Grageda, 1999). Las unidades experimentales (ue) consistieron de 30 g de cada uno de los tres suelos que se colocaron en un frasco de 120 mL con un área basal de 4.5 cm de diámetro. Las ue se incubaron a 25°C por 18 días. Los muestreos se realizaron a los 0, 1, 3, 6, 11 y 18 días.

Se evaluó la combinación factorial de tres suelos con diferente periodo de irrigación (0, 40 y 80 años), dos tipos de agua para riego: agua residual (Ar) y agua de pozo (Ap) y dos valores de humedad (66% y 133% de capacidad de campo). El diseño experimental fue completamente al azar con dos repeticiones.

Ensayo de Invernadero

Se usaron columnas inalteradas de suelo, las cuales se obtuvieron en campo mediante la penetración vertical de tubos de pvc, de 50 cm de largo x 15 cm de diámetro, en el perfil. En el invernadero cada una de ellas se cultivó con dos plantas de maíz forrajero. La aplicación del agua se realizó periódicamente para mantener la humedad del suelo a 95% de capacidad de campo.

Para evaluar la mineralización y volatilización *in situ*, distribución de nitratos y absorción de N del agua residual, se consideraron los tratamientos resultantes de la combinación de los tres suelos con diferente periodo de irrigación (0, 40 y 80 años) y dos tipos de agua para riego (Ar y Ap). El diseño del experimento fue de bloques al azar con cuatro repeticiones.

A cada ue se le adicionaron 20 kg ha^{-1} de N en forma de sulfato de amonio enriquecido con 10% de ^{15}N , a los 17 días después de la siembra. Dos aplicaciones más se realizaron, dejando un periodo de

cuatro semanas entre aplicaciones. Debido a que se hicieron muestreos destructivos cada mes, para cuantificar el N absorbido y distribución de nitratos en el perfil del suelo se establecieron un total de 72 ue.

Mineralización *in situ*. Para cuantificar la mineralización se introdujo verticalmente hasta el nivel del suelo un tubo de pvc de 4 cm de diámetro y 20 cm de largo dentro de la columna inalterada de suelo y se protegió la parte superior para que no recibiera el N marcado que se aplicaba cada mes (Raison *et al.*, 1987). Los muestreos de suelo para determinar amonio y nitratos se efectuaron a 0, 15, 30, 45, 60 y 90 días posteriores a la emergencia de las plantas.

Distribución de nitratos. La distribución de nitratos a lo largo del perfil de la columna se realizó mediante muestreos mensuales a diferentes profundidades: 0 a 15, 15 a 30 y >30 cm. El análisis de NO_3^- de cada profundidad se realizó de acuerdo con Bremner (1965).

Volatilización *in situ*. Para cuantificar la emisión de amoníaco de las columnas inalteradas de suelo, a éstas se le acondicionaron trampas, las cuales consistieron en recipientes de plástico de 50 mL de capacidad con 20 mL de ácido bórico e indicador (verde de bromocresol-naranja de metilo). La captura de amoníaco duró dos semanas y se inició inmediatamente después de la segunda aplicación de ^{15}N . Las muestras colectadas semanalmente en las trampas se titularon con una solución normal de ácido sulfúrico.

Absorción de N por el cultivo. En cada muestreo mensual se cosecharon los seis tratamientos con sus cuatro repeticiones (24 ue). El material vegetal se pesó en fresco y en seco, y se preparó para su análisis en laboratorio (Zapata, 1990). En el primer muestreo se consideró la planta completa y, en los otros dos, la planta se dividió en tallo y hojas para conocer la distribución de N total (kjeldahl) y ^{15}N en el tejido por espectrometría de emisión óptica (Zapata, 1990).

RESULTADOS Y DISCUSION

Calidad del Agua Residual

La cantidad aplicada de agua y N a cada columna se muestra en el Cuadro 1. El agua residual empleada en el presente trabajo contenía 30 veces más N-NH_4 que de N-NO_3 , con un promedio de N inorgánico de 33 mg L^{-1} y de 5.0 mg L^{-1} N orgánico, valores que concuerdan con los reportados por DFID (1998).

Cuadro 1. Cantidades de N y agua residual aplicadas al suelo con diferentes años de riego.

Años de riego	Muestreo	Nitrógeno		
		Volumen aplicado	L columna ⁻¹	g columna ⁻¹
80	1	7	0.32	38.50
	2	21.5	0.70	118.25
	3	34.5	1.13	189.75
40	1	5.6	0.18	30.8
	2	17.2	0.56	94.6
	3	27.6	0.91	151.8
0	1	6.3	0.20	34.65
	2	19.35	0.63	106.42
	3	31.05	1.02	170.77

Mineralización. El modelo ajustado ($Y_a = B_0[1 - \exp^{-B_1 + B_2 * t}]$, donde: B_0 = mineralización potencial; B_1 y B_2 = parámetros del modelo; t = tiempo y Y_a = mineralización en el tiempo) aplicado a los datos obtenidos en los ensayos de mineralización potencial e *in situ*, para cada tipo de agua y periodo de riego con agua residual, de acuerdo con los intervalos de confianza ($\alpha = 0.05$), indicaron que la mineralización potencial e *in situ* no se relacionó con el tipo de agua de riego ni con el número de años de riego con agua residual (Cuadro 2).

La cantidad de N mineralizado puede considerarse similar en ambos procedimientos para los tratamientos evaluados en cada periodo de evaluación.

Honeycutt (1999) encontró que la mineralización *in situ* puede ser menor que la determinada en laboratorio, lo cual coincide con algunos de los datos reportados en el presente estudio que, en general, son superiores a los encontrados en otros trabajos: 16 a 74 kg N ha^{-1} en Australia (Carlyle *et al.*, 1998), 119 kg N ha^{-1} en Nueva Inglaterra (Wienhold y Halvorson, 1999) y $101.2 \text{ kg N ha}^{-1}$ (en 24 semanas) en Canadá (Curtin y Wen, 1999). Esto se corrobora en algunos casos encontrados en la mineralización potencial medida en este estudio.

Fijación de Amonio. De acuerdo con el análisis de varianza ($\alpha = 0.05$), el amonio nativo y recientemente fijado varió de acuerdo con el número de años con riego con agua residual, pero no existió interacción entre los muestreos y el número de años de irrigación con agua residual (Cuadro 3). Para el amonio fijado total, no se encontró una relación definida con el número de años de irrigación con agua residual; sin embargo, la fijación fue mayor en el suelo con 40 años de irrigación con agua residual (Figura 1).

Cuadro 2. Valores estimados de mineralización en el suelo con diferente periodo de irrigación con agua residual.

Periodo de irrigación con agua residual	Mineralización			
	Potencial		In situ	
Años	Ar [†]	Ad [‡]	Ar [†]	Ap [§]
	kg N ha ⁻¹			
0	103 (0.86)	88 (0.90)	130 (0.88)	136 (0.86)
40	87 (0.91)	76 (0.93)	154 (0.76)	122 (0.90)
80	142 (0.80)	132 (0.83)	112 (0.85)	138 (0.84)

[†] Agua residual. [‡] Agua destilada. [§] Agua de pozo. () r² del modelo usado para estimar la mineralización potencial e *in situ*.

La fijación nativa de amonio se relacionó negativamente con el número de años de irrigación con agua residual, lo que indica que la actividad agrícola ha extraído parte de dicho amonio fijado (Figura 1). Esta fracción varió de 5 a 6% del N total del suelo y se encontró en el rango de 3 a 14%, reportado en la literatura para otros suelos (Scherer, 1993). Por lo anterior, se espera una mayor fijación de N recientemente aplicado como insumo agrícola (fijación reciente) al paso de los años de riego con agua residual.

Considerando las características del suelo estudiado: presencia de smectitas (80 a 90%), illitas y kaolinitas, textura migajón arcillosa, condiciones de humedad para la hidratación del ion y presencia de amonio, se infiere que la fijación de dicho ion es favorecida (Scherer, 1993; Wang y Alva, 2000).

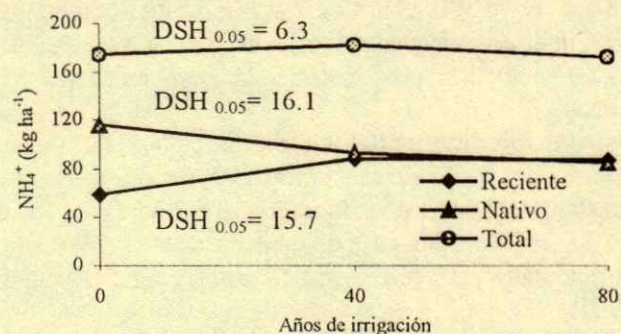
Desnitrificación. Los resultados de la determinación de la desnitrificación potencial de acuerdo con el análisis de varianza para la emisión de N₂O indicaron que sólo el efecto promedio de los muestreos fue significativo ($\alpha \leq 0.05$), lo cual puede deberse a una alta variación en la medición de N emitido como N₂O. Independientemente del periodo de años de riego con agua residual, se observó un aumento en la emisión con el periodo de incubación (Figura 2).

Cuadro 3. Fijación de amonio en los suelos irrigados con agua residual urbana.

Años	Amonio fijado					
	Nativo			Reciente		
	I [†]	F	Media	I	F	Media
	kg NH ₄ ⁺ ha ⁻¹					
0	109	122	115	64	52	58
40	86	100	93	96	81	88
80	79	90	84	93	81	87
Total	91	104	97	84	71	77

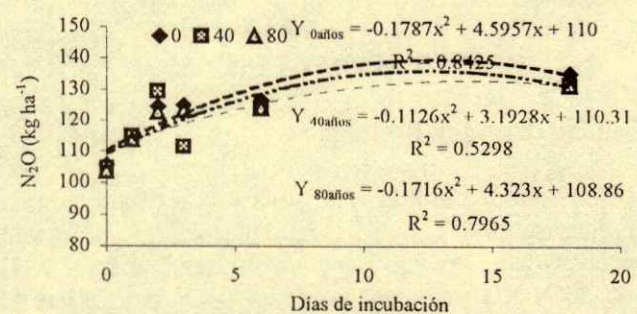
[†] Muestreo: I inicial, F final.

DSH _{0.05} :	Nativo	Reciente
Muestreo (M)	15.7	16.1
Años (A)	16.9	16.0
Interacción (M*A)	13.2	12.6

**Figura 1. Amonio fijado en las localidades del valle del Mezquital.**

El análisis estadístico efectuado para el potencial de N₂ emitido por el suelo, indicó interacción significativa ($\alpha \leq 0.05$) entre los años de irrigación con agua residual y muestreo, además de la humedad con tipo de agua. La emisión de N₂, en general, fue mayor en el suelo con 40 y 80 años de riego con agua residual, respecto al que no se ha regado con este tipo de agua (Figura 3). Se detectó 8% más de emisión de N₂O con agua residual a 133% de capacidad de campo respecto a la determinada a 66% de capacidad de campo (Figura 4).

La emisión a lo largo del tiempo coincide con lo reportado por otros autores, en donde la máxima emisión de N₂O y N₂ ocurre en los primeros días de aplicado el fertilizante, con una disminución y posterior estabilización (Jambert *et al.*, 1997).

**Figura 2. Emisión de N₂O en suelos irrigados con agua residual urbana.**

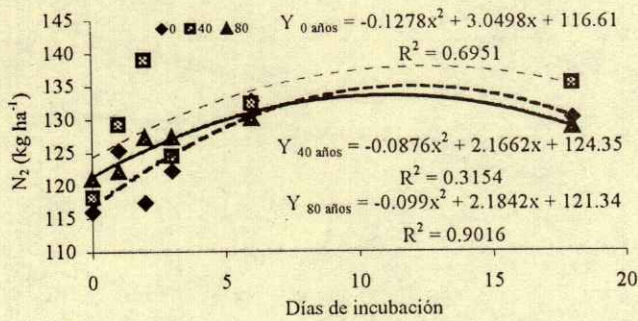


Figura 3. Emisión de N₂ en suelos irrigados con agua residual urbana.

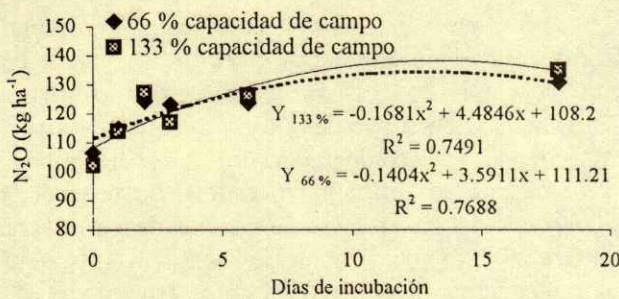


Figura 4. Emisión de N₂O a diferente capacidad de campo, usando agua residual.

Las emisiones de N₂O y N₂ de las localidades del valle del Mezquital, encontradas en este estudio son superiores a las reportadas por Qian *et al.* (1997) y

Liang y MacKenzie (1997), las cuales se muestran en el Cuadro 4, lo que puede atribuirse a la baja absorción de N por el maíz que, en promedio, fue de 4% de lo disponible (suelo + agua residual + fertilizante).

Distribución de nitratos. Se detectó ($\alpha \leq 0.05$) el desplazamiento del NO₃⁻ a las partes más profundas del suelo, conforme avanzaba el ciclo del cultivo, para cada tratamiento en cada suelo (Cuadro 5). La disminución de nitratos en la superficie pudo deberse a la absorción de las raíces y al movimiento de los nitratos junto con el agua en el perfil del suelo. La cantidad de nitratos en la profundidad de > 30 cm de los suelos estudiados sólo representó 8.6, 7.8 y 9.4% de la cantidad total aplicada de N en el agua residual para los sitios de 80, 40 y 0 años, respectivamente. Dichas cantidades de N, si no se absorbieron por las plantas, se lixiviarían (Stenberg *et al.*, 1999).

Volatilización de amoníaco. La interacción entre el muestreo, años de riego con agua residual y tipo de agua de riego en el ensayo de invernadero fue significativa ($\alpha \leq 0.05$). La volatilización aumentó con el número de años de irrigación con agua residual, excepto en el tratamiento regado con Ap en el segundo muestreo. Además, se observó que el riego con Ar produce la mayor cantidad de N amoniacal perdido (Figura 5). En general, la emisión de amoníaco encontrada fue mayor que la reportada para

Cuadro 4. Pérdidas de nitrógeno por desnitrificación en suelos cultivados con maíz.

Sitio	Condición	Desnitrificación	Autor		
		kg N ha ⁻¹			
Valle del Mezquital	Riego con agua residual urbana	0 años: 158 [†] 40 años: 204 [†] 80 años: 231 [†]	Este estudio		
	Pakistán	Riego (campo, ¹⁵ N)		39 [‡]	Mahmood <i>et al.</i> , 1998
	Francia	Laboratorio (potencial)		106 [†]	Jambert <i>et al.</i> , 1997
EUA	Riego (campo)	72 [‡]	Qian <i>et al.</i> , 1997		
Canadá	Riego (campo)	4 a 51 [†]	Liang y MacKenzie, 1997		

[†] Año. [‡] Ciclo.

Cuadro 5. Distribución de nitratos en el perfil del suelo irrigado con agua residual.[†]

Profundidad	0 años		40 años Muestreo		80 años	
	I [‡]	F	I	F	I	F
cm	kg N-NO ₃ ⁻ ha ⁻¹					
0 a 15	5.55	2.52	6.30	5.47	4.20	2.68
15 a 30	8.08	6.77	6.18	3.72	5.80	4.29
> 30	6.04	9.17	7.71	13.23	6.30	13.62
DSH _{0.05}	5.8					
CV (%)	3.6					

[†] Promedio de cuatro repeticiones. [‡] Muestreo: I = Inicial, F = Final. Los resultados del muestreo intermedio no se presentan.

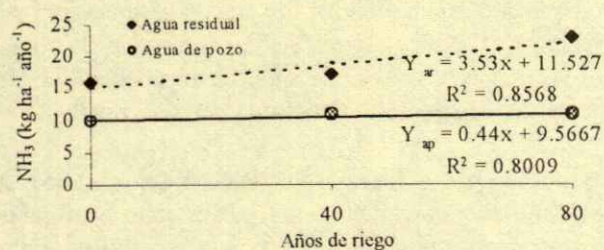


Figura 5. Emisión de NH_3 en el suelo irrigado con agua residual y agua de pozo.

tierras cultivadas europeas: $< 2 \text{ kg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ (Ferm, 1998) y $12 \text{ kg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ (Kirchmann *et al.*, 1998).

Las altas emisiones de amoníaco pueden deberse al pH del suelo (> 6.8), que es propicio para la disociación de NH_4^+ a NH_3 y a la presencia de amonio (Sharpe y Harper, 1995) en el agua residual aplicada: 30 veces más respecto a los nitratos.

Absorción de N. La absorción del N derivado del fertilizante (Nddf) se incrementó ($\alpha \leq 0.05$) conforme se desarrollaba el maíz (Figura 6). Con relación al N derivado del suelo (Ndds) se observó que el suelo con menor periodo de irrigación presentó mayor aporte de N respecto a los suelos con 40 y 80 años de riego con agua residual (Figura 7).

El análisis estadístico indicó que la interacción muestreo por el número de años de irrigación con agua residual fue significativa ($\alpha \leq 0.05$) para el aporte de N por el Ar (NddAr), siendo menor a la cantidad suministrada por el suelo y el fertilizante, lo cual indicaría que para absorber el N del Ar, debe ocurrir la mineralización.

La eficiencia de recuperación del N del fertilizante para cada una de las localidades fue: 60, 67 y 48% para 0, 40 y 80 años de riego con agua residual, respectivamente. En las localidades de 0 y 40 años, dicha eficiencia de recuperación del N es superior a la media reportada en otros estudios (Sembiring *et al.*,

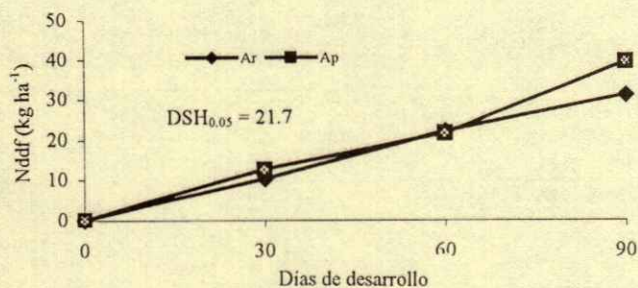


Figura 6. Nitrógeno derivado del fertilizante (Nddf) para el desarrollo del maíz.

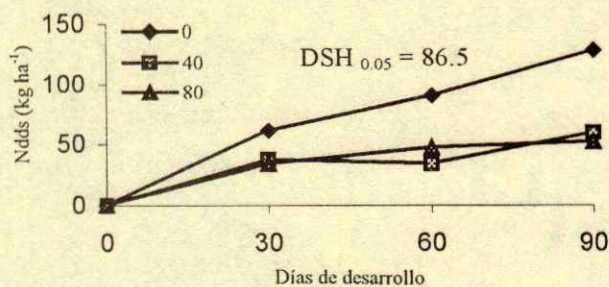


Figura 7. Nitrógeno derivado del suelo (Ndds) para el desarrollo del cultivo del maíz.

1998). En cambio, la eficiencia de recuperación del N del agua residual fue: 3, 8 y 1% en el suelo con 0, 40 y 80 años de irrigación con agua residual, respectivamente, lo que indica que el N inorgánico del agua residual no es suficiente para cubrir el requerimiento del cultivo del maíz.

Aun cuando la acumulación de N es ligeramente mayor cuando se aplica agua residual, la producción de biomasa del maíz presentó una tendencia inversa (Cuadro 6), lo cual coincide con otros trabajos reportados para el cultivo de trigo (Hussain *et al.*, 1996).

Los resultados de acumulación obtenidos en el ensayo de invernadero son superiores a los reportados por Chung *et al.* (2000), pero inferiores a los encontrados por Harper y Sharpe (1995) quienes indicaron que el agua de riego con agua de pozo aportó 67 kg N ha^{-1} de 245 kg ha^{-1} acumulados.

Balance de N. La cantidad de N emitida por desnitrificación calculada por diferencia fue inferior a la determinada en cámara de incubación en el laboratorio, reportada en párrafos anteriores. La cantidad de N disponible para la nutrición del cultivo fue mayor que la absorbida por el maíz, con una pérdida por vía gaseosa superior a la absorción (Cuadro 7).

Las pérdidas de N del agua residual por volatilización representan 9.3, 11.1 y 12.1% del total aplicado para el suelo con 0, 40 y 80 años de riego con agua residual, respectivamente. Dichas pérdidas son inferiores a las reportadas por Harper y Sharpe (1995), pero

Cuadro 6. Producción de biomasa y acumulación de nitrógeno en el maíz irrigado con agua residual urbana.

Agua	N acumulado	Biomasa seca
	----- kg ha ⁻¹ -----	
Residual	97	5811
Pozo	84	6962
DSH _{0.05}	14.8	2893

Cuadro 7. Balance de nitrógeno en el suelo del Valle del Mezquital con diferente periodo de riego con agua residual.[†]

Años [‡]	Tratamientos Tipo de agua	N disponible [§]			MI	N suelo [¶]		Salidas	
		Total	Ar	Fe		NO ₃ ⁻	Volat. [#]	Planta	Desnit ^{††}
----- kg N ha ⁻¹ -----									
0	Residual	361	171	60	130	18	16	169	158
40		366	152	60	154	22	17	123	204
80		362	190	60	112	21	23	87	231
0	Pozo	196	-	60	136	21	10	169	0
40		182	-	60	122	12	11	100	59
80		198	-	60	138	23	11	87	77

[†]Determinado en el ensayo de invernadero. [‡]Años de riego con agua residual. [§]Suma del agua residual aplicada (Ar), fertilizante marcado (Fe) y N mineralizado (MI). [¶]Medido a la cosecha no se detectó lixiviación. [#]Volatilización. ^{††}Calculado por el método de la diferencia.

superiores a lo encontrado en otro trabajo (Ferm, 1998).

Los valores de desnitrificación encontrados en el suelo con diferente periodo de irrigación (43, 55 y 66% del total aplicado, para 0, 40 y 80 años, respectivamente) son superiores a los encontrados por Qian *et al.* (1997) y Liang y MacKenzie (1997): 5 y 7% del N total aplicado al cultivo del maíz con riego, respectivamente.

En cuanto a la recuperación por el cultivo, se observó una disminución consistente con los años de riego con agua residual: 46, 33 y 24% de N recuperado del total disponible para el suelo con 0, 40 y 80 años, respectivamente. Dichos resultados son inferiores a los encontrados en otros estudios (Harper y Sharpe, 1995; Liang y MacKenzie, 1997; Qian *et al.*, 1997; Mahmood *et al.*, 1998).

El balance realizado en este estudio es similar al reportado por Cartagena *et al.* (1995), quienes también encontraron pérdidas de N superiores a la absorción de N por el cultivo de maíz.

CONCLUSIONES

En los suelos del valle del Mezquital cultivados con forrajes e irrigados con agua residual, el maíz para forraje absorbió del agua residual sólo 4%, del suelo 63% y del fertilizante 33% del N total que acumuló, por lo que el N del agua residual no cubrió los requerimientos del cultivo. La volatilización y desnitrificación aumentó con el número de años con riego. La cantidad de N emitida como gas fue mayor que la absorbida por el maíz forrajero. La desnitrificación fue mayor que la volatilización. No se detectó lixiviación en las columnas inalteradas de suelo.

LITERATURA CITADA

- Bouwer, H. y E. Idelovitch. 1987. Quality requirements for irrigation with sewage water. *J. Irrig. & Drainage Eng.* 113: 516-535.
- Bremner, J.M. 1965. Total nitrogen. In: C.A. Black (ed.). *Methods of soil analysis. Part 2. Agronomy 9.* American Society of Agronomy, Madison, WI.
- Carlyle, J.C., E.K. Sadanandan y M.W. Bligh. 1998. The use of laboratory measurements to predict nitrogen mineralization and nitrification in *Pinus radiata* plantations after harvesting. *Can. J. For. Res.* 28: 1213-1221.
- Cartagena, M., A. Vallejo, J. Diez, A. Bustos, R. Caballero y R. Ramos. 1995. Effects of the type of fertilizer and source of irrigation water on N use in a maize crop. *Field Crop Res.* 44: 33-39.
- Chung, R., C.H. Wang, C.W. Wang y Y. Wang. 2000. Influence of organic matter and inorganic fertilizer on the growth and nitrogen accumulation of corn plants. *J. Plant Nutr.* 23: 297-311.
- Curtin, D. y G. Wen. 1999. Organic matter fractions contributing to soil nitrogen mineralization potential. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 63: 410-415.
- DFID (Department For International Development). 1998. Impact of wastewater reuse on groundwater in the Mezquital Valley, Hidalgo State, Mexico. CNA, BGS, LSHTM and UB.
- Ferm, M. 1998. Atmospheric ammonia and ammonium transport in Europe and critical loads: A review. *Nutrient Cycling in Agroecosystem* 51: 5-7.
- Grageda, O. 1999. La fertilización nitrogenada en el Bajío Guanajuatense como fuente potencial de contaminantes ambientales. Tesis para obtener el grado de Doctor en Ciencias con especialidad en biotecnología, Centro de Investigaciones y de Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional. México, DF.
- Harper, L.A. y R.R. Sharpe. 1995. Nitrogen dynamics in irrigated corn: Soil-plant nitrogen and atmospheric ammonia transport. *Agron. J.* 87: 669-675.
- Honeycutt, C.W. 1999. Nitrogen mineralization from soil organic matter and crop residues: Field validation of laboratory predictions. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 63: 134-141.
- Hussain, G., A. Al-Jaloud y S. Karimulla. 1996. Effect of treated effluent irrigation and nitrogen on yield and nitrogen use efficiency of wheat. *Agric. Water Manage.* 30: 175-184.

- Jambert, C., D. Serca y R. Delmas. 1997. Quantification of N-losses as NH_3 , NO , and N_2O and N_2 from fertilized fields in Southwestern France. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 48: 91-104.
- Kirchmann, H., M. Esala, J. Morken, M. Ferm, W. Bussink, J. Gustavsson y C. Jakobsson. 1998. Ammonia emissions from agriculture. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 51: 1-3.
- Liang, B.C. y A.F. MacKenzie. 1997. Seasonal denitrification rates under corn (*Zea mays* L.) in two Quebec soils. *Can. J. Soil Sci.* 77: 21-25.
- Mahmood, T., K.A. Malik, S.R.A. Shamsi y M.I. Sajjad. 1998. Denitrification and total N losses from and irrigated sandy-clay loam under maize-wheat cropping system. *Plant Soil* 199: 239-250.
- Marzadori, C., L. Vittori y C. Ciavatta. 1993. A rapid method for the determination of fixed ammonium in soil. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 24 (7&8): 745-756.
- Qian, J.H., J.W. Doran, K.L. Weier, A.R. Mosier, T.A. Peterson y J.F. Power. 1997. Soil denitrification and nitrous oxide losses under corn irrigated with high-nitrate groundwater. *J. Environ. Qual.* 26: 348-360.
- Raison, R.J., M.J. Connell y P.K. Khanna. 1987. Methodology for studying fluxes of soil mineral N *in situ*. *Soil Biol. Biochem.* 19: 521-530.
- Ramos, C. 1997. El uso de aguas residuales en riegos localizados y en cultivos hidropónicos. Instituto Valenciano de Investigaciones Agrarias. Apdo. Oficial, 46113 Moncada.
- Scherer, H.W. 1993. Dynamics and availability of the non-exchangeable $\text{NH}_4\text{-N}$: A review. *Eur. J. Agron.* 2(3): 149-160.
- Sembiring, H., W.R. Raun y G.V. Johnson. 1998. Nitrogen accumulation efficiency: Relationship between excess fertilizer and soil-plant biological activity in winter wheat. *J. Plant Nutrition* 21: 1235-1252.
- Sharpe, R.R. y L.A. Harper. 1995. Soil, plant and atmospheric conditions as they relate to ammonia volatilization. *Fert. Res.* 42: 149-158.
- Sharpe, R.R. y L.A. Harper. 1997. Apparent atmospheric nitrogen loss from hydroponically grown corn. *Agron. J.* 89: 605-609.
- Stenberg, M., H. Aronsson, B. Linden, T. Rydberg y A. Gustafson. 1999. Soil mineral nitrogen and nitrate leaching losses in soil tillage systems combined with a catch crop. *Soil and Tillage Res.* 50: 115-125.
- Wang, F. y A. Alva. 2000. Ammonium adsorption and desorption in sandy soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 64: 1669-1674.
- Wienhold, B.J. y A.D. Halvorson. 1999. Nitrogen mineralization responses to cropping, tillage, and nitrogen rate in the northern great plains. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 63: 192-196.
- Zapata, F. 1990. Técnicas isotópicas en estudios sobre la fertilidad del suelo y la nutrición de plantas. *In: G. Hardarson (ed.). Empleo de técnicas nucleares en los estudios de la relación suelo-planta.* FAO-OIEA. Viena, Austria.

PRODUCCION DE FRIJOL, EN DOS EPOCAS DE SIEMBRA: SU RELACION CON LA EVAPOTRANSPIRACION, UNIDADES CALOR Y RADIACION SOLAR EN CLIMA CALIDO

Bean Production in Two Planting Seasons and Their Relationship with Evapotranspiration, Heat Units and Solar Radiation in Hot Climate

J. Alberto Escalante Estrada,¹ L. Enrique Escalante E.² y María Teresa Rodríguez G.¹

RESUMEN

Una serie de experimentos se condujeron en Iguala, Guerrero, (clima cálido) en el ciclo de invierno (riego) durante noviembre 1979-febrero 1980, diciembre 1980-marzo 1981, diciembre 1986-abril 1987, febrero 1987-abril 1987 y diciembre 1990-marzo 1991 y en verano (secano) durante junio-septiembre 1982, junio-septiembre 1983, junio-septiembre 1984 y julio-octubre 1984. Se determinó la relación entre la producción de biomasa y el rendimiento de frijol var. Michoacán 12-A-3 (101 días a madurez) con la evapotranspiración estacional del cultivo (ETc), la radiación solar estacional (Rg) y las unidades calor acumuladas a madurez (UC). La densidad de población fue 13.3 plantas m⁻² y la distancia entre surcos 0.75 m con fertilización de 80-40-00 de N, P y K. En invierno, la producción de biomasa y rendimiento más alta fue 452 g m⁻² y 205 g m⁻², y correspondió a la siembra RIII (19 de noviembre de 1989) y RV (7 de diciembre de 1990), respectivamente. En verano, fue de 386 g m⁻² y 176 g m⁻², respectivamente, y correspondió a la siembra SIII (28 de junio de 1982). Por otra parte, en ambas épocas, la biomasa mostró una relación lineal alta con la ETc ($r^2 = 0.97$) y, en menor grado, con Rg y UC, pero con el rendimiento esta relación fue cuadrática ($r^2 = 0.80$), de tal forma, que en invierno el rendimiento máximo (205 g m⁻²) se logró con una ETc de 256 mm, 1436 UC y 1893 MJ m⁻². En verano, el rendimiento más alto fue de 176 g m⁻² y se encontró con una ETc de 377 mm, UC de 1347 y 2017 MJ m⁻². Por otra parte, la biomasa y el rendimiento en invierno fueron superiores a los de verano en 41% y 38%, respectivamente, con una ETc más baja. Este estudio

permite conocer el grado de influencia de los factores sobre la producción de los cultivos. De esta manera, se podrían buscar las mejores estrategias de manejo de cultivo que conduzcan a una mayor respuesta del frijol al factor o a factores de mayor relación con el rendimiento.

Palabras clave: Biomasa., rendimiento, Phaseolus vulgaris, verano, invierno, secano, riego.

SUMMARY

A series of field experiments was conducted in Iguala, Guerrero (hot climate) during the winter (with irrigation) and in the summer (rainfed) to determine the relationship between bean production (biomass and yield) and seasonal evapotranspiration (ETc), solar radiation (Rg), and heat units (HU). Winter plantings of cv Michoacan 12-A-3 (101 days to maturity) were done from November 1979 to February 1980, December 1980 to March 1981, December 1986 to April 1987, February 1987 to April 1987 and December 1990 to March 1991; summer plantings were done from June to September 1982, June to September 1983, June to September 1984 and July to October 1984. Plant density was 13.3 plants m⁻² in rows 0.75 m apart. N, P, and K 80-40-00 fertilizer was used. For the winter plantings, the highest biomass and yield were 452 g m⁻² and 205 g m⁻² for the RIII (November 19, 1989) and RV (December 7, 1990) plantings, respectively. In each planting season, the biomass showed a close linear relationship with ETc ($r^2 = 0.97$) while values for Rg and HU were lower, but the relationship for yield was a quadratic type ($r^2 = > 0.80$). Biomass and yield were 41% and 38% higher, respectively, for the winter planting, but ETc, Rg, and HU were lower than for summer plantings. Thus, for the winter plantings, the highest yield (204 g m⁻²) occurred with 256 mm ETc, 1436 HU, and 1893 MJ m⁻² Rg. In summer, the highest yield occurred with 377 mm, 1347 HU, and 2017 MJ m⁻² Rg. However, biomass and yield in

¹ Instituto de Recursos Naturales, Colegio de Postgraduados. 56230 Montecillo, Texcoco. México. (jasee@colpos.mx)

² Colegio Superior Agropecuario del Estado de Guerrero. Iguala, Guerrero. México.

winter were 41% and 38% higher than in summer with a lower ETc. This study could provide a basis for assessment of principal risk factors in production which could lead to adjustments in management practices aimed at getting higher response to these factors.

Index words: Biomass, yield, *Phaseolus vulgaris*, summer, winter, drought, irrigation.

INTRODUCCION

El frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) es un cultivo de importancia para el estado de Guerrero. En el ciclo agrícola de 1996, la superficie sembrada fue de 13 861 ha, de las cuales 9258 ha fueron de temporal y las restantes de riego. El rendimiento medio fue de 590 kg ha⁻¹ (SAGAR, 1996). En clima cálido, como el que corresponde al valle de Iguala, se pueden realizar siembras de frijol, tanto en verano como en invierno, esta última de riego. Así, durante el año, el frijol está sujeto a cambios en radiación solar, temperatura y demanda evaporativa del aire medida a través de la evapotranspiración del cultivo (ETc), los cuales influyen sobre el crecimiento y rendimiento del mismo.

En cuanto a la temperatura, para relacionar este factor con la producción agrícola, por lo general, se hace uso de la integral térmica conocida como grados días desarrollo o unidades calor (Snyder, 1985). El objetivo de este estudio fue 1) Determinar en regiones de clima cálido la relación entre la producción de biomasa y rendimiento del frijol y la evapotranspiración del cultivo, radiación solar estacional y la acumulación de calor. 2) Determinar cuál de los tres procesos mencionados muestran mayor relación con la producción de biomasa y rendimiento.

Dirks y Bolton (1981) y Wilson *et al.* (1995) señalaron que, aunque el crecimiento de un cultivo es afectado por un grupo complejo de factores ambientales, los de mayor impacto son: la precipitación pluvial, la radiación y la temperatura estacional. La relación entre estos factores y el crecimiento y rendimiento del cultivo estará en función del clima en que éste se desarrolle (Shaw, 1988). De estos tres factores, el agua puede considerarse el primero en importancia y es el más determinante para la producción agrícola. Una evidencia de esto es la relación lineal entre el suministro de agua y el rendimiento de los cultivos

(Carreker *et al.*, 1972; Garlipp 1976; Liang *et al.*, 1991; Fuenzalida *et al.*, 1993). Por otra parte, la temperatura medida como unidades calor o grados días (Snyder, 1985) o tiempo termal (Bollero *et al.*, 1996), también ha mostrado una relación alta con el rendimiento, por ejemplo, en maíz (Muchow *et al.*, 1990; Fuenzalida *et al.*, 1993) ya se ha utilizado como base para la clasificación del desarrollo y madurez de los cultivos (Gilmore y Rogers, 1958; Undersander y Christiansen, 1986). Asimismo, Escalante (1999) señaló que la radiación solar acumulada durante el desarrollo del cultivo también es determinante para la producción de biomasa en girasol.

En frijol, el estudio de la relación entre crecimiento y factores del ambiente ha recibido poca atención. De trabajos realizados en Chapingo, México, con frijol cv. Canario de hábito de crecimiento determinado, se deduce una relación lineal entre la biomasa y la ETc (Siquiera y Palacios 1985). En cuanto a la temperatura, Robertson y Frazier (1978) señalaron que para un "óptimo" crecimiento del frijol se requiere de 1800 unidades calor (UC) y Flores *et al.* (1985) indicaron que el crecimiento del frijol en el altiplano de Zacatecas se relaciona con las UC y que ambos factores están en función de la fecha de siembra. Así, cuando ésta se realizó el 20 de abril, el frijol acumuló 892 UC y cuando fue un mes después, el frijol acumuló 731 UC. Por otra parte, en climas templados, de los datos de Siquiera y Palacios (1985) se deduce una relación cuadrática entre el rendimiento del frijol 'Canario 107' y el suministro de agua que generó diferentes ETc cuando el frijol se sembró en condiciones de campo e invernadero.

MATERIALES Y METODOS

Los experimentos se condujeron en Iguala, Guerrero, con riego durante 1979-1980, 1980-1981, 1986-1987, 1987-1988 y 1990-1991 en siembras de invierno y en 1982, 1983 y 1984 en siembras de secano en verano. El clima del lugar es Awo (García, 1973), que indica que es un clima cálido subhúmedo con lluvias en verano (el más seco de este grupo), con una precipitación anual que fluctúa de 750 a 1150 mm, con la distribución de la precipitación de junio a octubre y una temperatura media anual mayor que 22 °C a una altitud de 650 m. El suelo es un vertisol.

En todos los experimentos, el frijol var. Michoacán 12-A-3 de hábito de crecimiento

indeterminado arbustivo se sembró a la densidad de población de 13.3 plantas m⁻² en surcos de 75 cm de separación. Los datos utilizados en este trabajo provienen de las parcelas fertilizadas con nitrógeno de una serie de experimentos con niveles de N de 0 y 80 kg. Además, todos los experimentos se fertilizaron con 40 kg P₂O₅ antes de la siembra. En cada estación de siembra (invierno y verano), los tratamientos fueron la fecha de siembra. El diseño experimental fue bloques al azar con cuatro repeticiones. La unidad experimental fue de 5 x 3.75 m. Las fechas de siembra y de cosecha de los experimentos se muestran en el Cuadro 1.

Las variables analizadas fueron: rendimiento en grano (materia seca del grano en g m⁻²), producción de biomasa (materia seca total en g m⁻²); la evapotranspiración del cultivo (ETc) mm d⁻¹ se calculó con el método del evaporímetro de cubeta clase A, utilizando 0.6 como coeficiente para el evaporímetro y 0.65 como coeficiente del cultivo (Kc) (Doorenbos y Pruitt, 1977). La ETc estacional comprende la integral de la ETc diaria. La radiación solar global diaria (Rg) (MJ m⁻² d⁻¹) se calculó con base en el número de horas de insolación registradas por el heliógrafo (Romo y Arteaga, 1983); la Rg estacional comprende la integral de la Rg diaria. Para determinar las unidades calor (UC) se utilizó el método residual (Snyder, 1985) con la ecuación siguiente:

$$UC = (T_{\text{máx}} + T_{\text{mín}})/2 - TB$$

Donde:

T_{máx} = Temperatura máxima diaria (°C)

T_{mín} = Temperatura mínima diaria (°C)

TB = Temperatura base o umbral (10 °C para frijol)

La UC estacional comprende la integral de UC diaria.

Para determinar las relaciones entre la ETc, UC y Rg con la producción de biomasa y semilla, se realizó un análisis de regresión que se ajustó a ecuaciones lineales y cuadráticas como:

$$Y = b_0 + b_1 W; \text{ y } Y = b_0 + b_1 W + b_2 W^2, \text{ respectivamente,}$$

Donde Y fue la producción de biomasa o producción de semilla; W puede ser la ETc, unidades calor (UC) o radiación global de la estación de crecimiento; b₀ y b₂ fueron los coeficientes de regresión.

Las ecuaciones se seleccionaron con base en dos criterios: 1) la simplicidad y 2) que la ecuación y el

Cuadro 1. Fechas de siembra (tratamientos) y de cosecha de los experimentos realizados.

Condición	Experimento [†]	Siembra	Cosecha
Invierno (riego)	RI	17 Nov. 1979	17 Feb. 1980
	RII	17 Dic. 1980	27 Mar. 1981
	RIII	19 Dic. 1986	8 Abr. 1987
	RIV	3 Feb. 1987	24 Abr. 1987
	RV	7 Dic. 1990	27 Mar. 1991
Verano (secano)	SI	1 Jun. 1982	30 Sept. 1982
	SII	29 Jun. 1983	30 Sept. 1983
	SIII	28 Jun. 1984	25 Sept. 1984
	SIV	12 Jul. 1984	3 Oct. 1984
	SV	26 Jul. 1984	14 Oct. 1984

[†] Con esta simbología se hará referencia a las siembras de invierno y riego (RI a RV) y de verano y secano (SI a SV).

coeficiente de regresión fuesen significativos a una probabilidad mayor que o igual a 0.95.

RESULTADOS Y DISCUSION

Siembras Invernales

Evapotranspiración, unidades calor y radiación solar. La evapotranspiración del cultivo (ETc), unidades calor (UC) y radiación solar (Rg) estacional variaron durante el periodo experimental (Cuadro 2).

El intervalo de ETc fue de 214 a 352 mm, de UC de 1296 a 1679 y de Rg de 1615 a 2170 MJ m⁻². El valor más alto de ETc, UC y Rg se encontró en RIII (siembra de diciembre de 1986); mientras que el más bajo en RI (siembra de noviembre de 1979). Esto indica que en RIII se tuvo la época de mayor demanda evaporativa, es decir, que las necesidades de agua del cultivo fueron mayores en esta fecha de siembra. La magnitud de la ETc se relacionó principalmente con la

Cuadro 2. Evapotranspiración estacional durante el periodo de crecimiento del cultivo del frijol en Iguala, Guerrero. México. Siembras Invernales.

Experimento [†]	ETc	Unidades de calor	Radiación global
	mm		MJ m ⁻²
RI	214	1296	1615
RII	245	1328	1893
RIII	352	1679	2170
RIV	300	1531	1733
RV	256	1436	1893
Medias	273.4±53.7	1454±156	1861±209

[†] Siembras de invierno: RI 17 noviembre 1979; RII 17 diciembre 1980; RIII 19 diciembre 1986; RIV 3 febrero 1987; RV 7 diciembre 1990.

ETc = Evapotranspiración del cultivo.

Cuadro 3. Evapotranspiración estacional del cultivo (ETc) en función de las unidades calor (UC) y radiación global (Rg) (MJ m⁻²) estacional. Siembras de invierno.

Evapotranspiración vs	Ecuación	r ²
Unidades calor	ETc = 670.8 + 2.86 UC	0.96 **
Radiación global	ETc = 559.7 + 4.34 Rg	0.74 *

*, ** Significancia a P < 0.05 y 0.01, respectivamente.

UC (r² = 0.96**) y, en menor grado, con la Rg (r² = 0.74**) (Cuadro 3).

Producción de biomasa y rendimiento. En el Cuadro 4, se observa que las diferencias en biomasa y rendimiento, debido a la fecha de siembra, fueron significativas. Así, la producción de biomasa más alta fue de 452 g m⁻² y correspondió a la siembra RIII (19 de diciembre de 1986), el rendimiento en esta fecha fue de 140 g m⁻². La producción de biomasa más baja se encontró en la siembra RI (17 de noviembre de 1979) con 379 g m⁻² y un rendimiento de 184 g m⁻². Es importante notar aquí que la siembra en la misma fecha, pero en diferentes años, mostró una contrastante producción de biomasa y rendimiento, lo cual sugiere que la fecha cronológica no debería utilizarse como determinante para una producción alta. El rendimiento más alto (205 g m⁻²) se encontró en la siembra RV (7 de diciembre de 1990) y no correspondió a la mayor producción de biomasa. Esto sugiere la existencia de algún factor o factores que limitan una mayor asignación de materia seca en el grano, en aquellas siembras en donde la producción de biomasa es mayor, dentro de los cuales podemos mencionar a la temperatura, puesto que se ha señalado que este factor regula el flujo de asimilados hacia el grano en cereales (Wardlaw, 1990).

Cuadro 4. Rendimiento y producción de biomasa en siembras invernales. Iguala, Guerrero.

Experimento [†]	Biomasa	Rendimiento
	----- g m ⁻² -----	
RI	379 d [‡]	184 b
RII	404 c	194 b
RIII	452 a	140 d
RIV	428 b	160 c
RV	412 bc	205 a
Medias	415±27.2	159±48.5
Prob F.	**	**
DSH 0.05	21.9	9.4

** P < 0.01.

[†] Siembras de invierno: RI: 17 noviembre 1979; RII: 17 diciembre 1980; RIII: 19 diciembre 1986; RIV: 3 febrero 1987; RV 7 diciembre 1990.

[‡] Dentro de cada columna valores con letra similar son estadísticamente iguales.

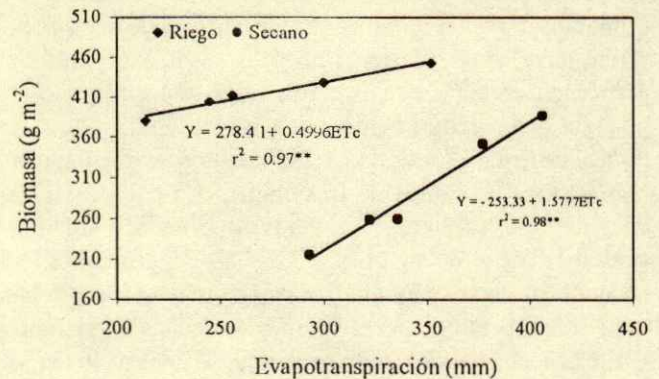


Figura 1. Relación entre la biomasa (g m⁻²) y la evapotranspiración (mm) en frijol de riego en invierno y seco en verano. Iguala, Guerrero.

Relación biomasa y evapotranspiración, unidades calor y radiación global. Los datos presentados en las Figuras 1 y 2 muestran que la relación entre la biomasa y la ETc y UC fue lineal ($y = b_0 + b_1W$). Así, los cambios en la producción de biomasa se determinaron, en principio, por los cambios en la ETc y UC (r² de 0.97** y 0.93**, respectivamente). La relación entre la biomasa y la radiación global fue en menor grado (r² = 0.64*). Tendencias similares entre la biomasa y la ETc se han encontrado en trigo de riego (Musick y Porter, 1990; Musick *et al.*, 1994) y girasol (Escalante, 1992). Wilson *et al.* (1995) también encontraron una relación lineal entre la biomasa del maíz, la temperatura y la radiación solar.

Relación rendimiento y evapotranspiración, unidades calor y radiación global. En contraste con la relación lineal entre la biomasa con la ETc, UC y Rg; estas variables mostraron una relación de tipo cuadrática ($y = a + bx + cx^2$). Así, el rendimiento

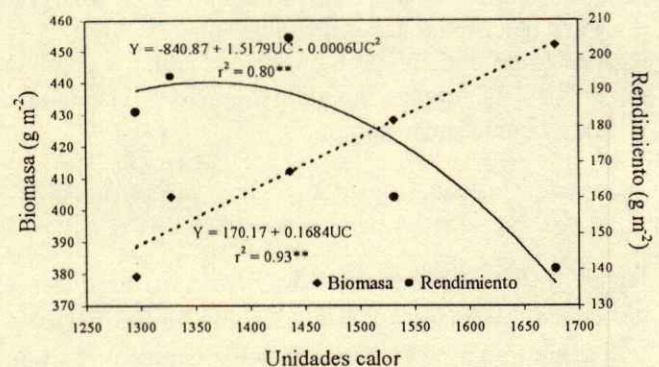


Figura 2. Relación biomasa (g m⁻²), rendimiento (peso seco de grano, g m⁻²) y unidades calor (UC) en frijol de riego en invierno. Iguala, Guerrero.

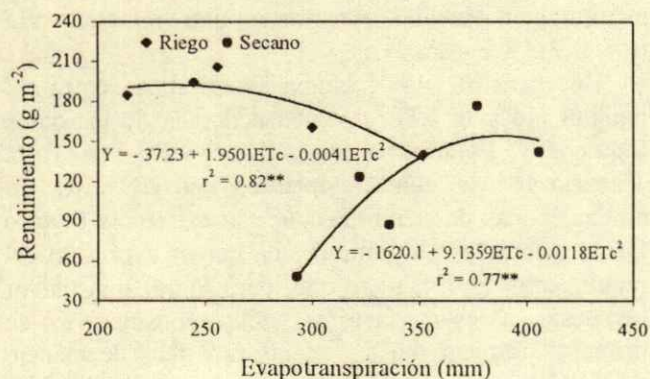


Figura 3. Relación entre el rendimiento (peso seco del grano m⁻²) y la evapotranspiración (mm) en frijol de riego en invierno y secano en verano. Iguala Guerrero.

máximo (240 g m⁻²) de frijol en siembras invernales se logró con una ETc de 200 mm (Figura 3) y 1450 UC (Figura 2) y correspondió a la siembra RV del 7 de diciembre de 1990. En valores más altos, se observó un decremento en el rendimiento en grano. Cabe señalar que la Rg y el rendimiento mostraron una relación más baja (r² = 0.64*).

Siembras de Verano

Evapotranspiración, unidades calor y radiación solar. De manera similar a las siembras invernales, en verano se observó variación en la ETc, UC y Rg en los experimentos realizados. Así, como se muestra en el Cuadro 5, la ETc fluctuó entre 293 a 406 mm, UC entre 1198 y 1763, la Rg entre 1712 y 2776 MJ m⁻² y la PP entre 391 a 878 mm.

Producción de biomasa y rendimiento. El análisis de varianza mostró cambios significativos para la producción de biomasa y rendimiento por efecto de la fecha de siembra (Cuadro 6). La producción de

Cuadro 5. Evapotranspiración estacional del cultivo, unidades calor, radiación global y precipitación estacional para el cultivo del frijol en Iguala, Guerrero.

Experi- mento [†]	ETc mm	Unidades calor	Radiación global MJ m ⁻²	Precipitación pluvial mm
SI	406	1763	2776	878
SII	336	1633	2250	486
SIII	377	1347	2017	509
SIV	322	1258	1858	421
SV	293	1198	1712	391
Medias	347±44	1440±246	2122±416	537±196

[†] Siembras de verano: SI: 1 junio 1982; SII: 29 junio 1983; SIII: 28 junio 1984; SIV: 12 julio 1984; SV: 26 julio 1984. ETc = Evapotranspiración estacional del cultivo.

Cuadro 6. Producción de biomasa y rendimiento para el frijol Michoacán 12-a-3 en las siembras de secano en Iguala, Guerrero.

Experimento [†]	Biomasa g m ⁻²	Rendimiento g m ⁻²
SI	386 a [†]	142 ab
SII	259 b	87 b
SIII	351 a	176 a
SIV	258 b	123 b
SV	215 b	48 c
	293.8±71	115±49
Prob. F	**	**
DSH 0.05	52	48

** P < 0.01.

[†] Siembras de verano: SI: 1 junio 1982; SII: 29 junio 1983; SIII: 28 junio 1984; SIV: 12 julio 1984; SV: 26 julio 1984.

[‡] Dentro de las columnas valores con letra similar son estadísticamente iguales.

biomasa más alta fue de 351 y 386 g m⁻², y 142 y 176 g m⁻² y correspondió a las siembras SI (1 de junio de 1982) y SIII (28 de junio de 1982), respectivamente. La producción de biomasa y rendimiento más baja se encontró con la siembra SV (26 de julio de 1984), con 215 g m⁻² y 48 g m⁻², respectivamente.

Relaciones biomasa y evapotranspiración, unidades calor y radiación global. La producción de biomasa se relacionó principalmente con la ETc (r² = 0.97**). La ecuación que describe dicha relación es Biomasa = -253.3 + 1.58 ETc (Figura 1). Esto indica, que la magnitud del crecimiento representado por la biomasa dependerá de la cantidad de agua utilizada por el mismo durante su ciclo de crecimiento. Por otra parte, la relación biomasa con Rg y UC fue en menor grado (r² = 0.59* y 0.38 NS, respectivamente).

La ETc mostró una relación alta con la Rg (r² = 0.97**) y, en menor grado, con las UC (r² = 0.52*). Las ecuaciones que demuestran dicha relación se presentan en el Cuadro 7. Asimismo, la relación ETc y Rg explica que la magnitud de la evaporación de una superficie está determinada en 70% por la radiación solar recibida durante la estación

Cuadro 7. Evapotranspiración estacional del cultivo en función de las unidades calor, radiación global en frijol de secano en Iguala, Guerrero.

Evapotranspiración vs	Ecuación	r ²
Radiación global	ETc=154.5+0.090 Rg	0.71**
Unidades calor	ETc=157.7+0.131 UC	0.52*

*** P < 0.01 y 0.05, respectivamente.

ETc = Evapotranspiración estacional del cultivo.

de crecimiento (Doorenbos y Pruitt, 1977). La relación más baja encontrada con la ETc y la UC tal vez se deba a que para el cálculo de la UC incluye las temperaturas mínimas que corresponden al período de oscuridad del día en donde la ETc es nula.

Relación rendimiento y evapotranspiración, unidades calor y radiación global. Al estudiar la relación entre el rendimiento con la ETc ésta mostró una relación alta con el rendimiento ($r^2 = 0.77^{**}$) y fue del tipo cuadrático (Figura 3).

Esta relación indica que el rendimiento se incrementó hasta alcanzar 176 g m^{-2} con una ETc de 377 mm. Valores superiores a éstos no reflejaron incrementos en el rendimiento. Esto sugiere la existencia de otros factores que están limitando el rendimiento y que pueden ser la temperatura alta (Escalante, datos no publicados) y el déficit hídrico ocasionado por la irregular distribución pluvial que pudieron ser causa de la caída de vainas y, de esta manera, un rendimiento más bajo, lo cual se pretende dilucidar en estudios posteriores.

Comparación entre biomasa, rendimiento, evapotranspiración, unidades calor y radiación global de las siembras invernales con las de verano. La biomasa y el rendimiento promedio de las siembras invernales fueron significativamente ($P < 0.05$) superiores a las de verano en 41 y 38%, respectivamente. En contraste con la ETc y Rg que en invierno fueron inferiores en 22 y 12%, respectivamente. En ambas épocas, las UC fueron similares (Cuadro 8). Dos razones parecen explicar dicha respuesta: a) La siembra en época de menor demanda evaporativa del aire, como es el invierno, conduce a una mayor producción de los cultivos (Gregory *et al.*, 1984; Gimeno *et al.*, 1989) y b) La producción de las siembras de verano estuvo sujeta a la variabilidad en la disponibilidad de agua, producto de la distribución de la precipitación (Dirks y Bolton, 1981), y a la temperatura alta, lo que limitó una mayor respuesta del cultivo a la ETc y Rg. La biomasa y la

precipitación pluvial mostraron una relación alta ($r^2 = 0.71^{**}$, Figura 4).

En general, la relación cuadrática entre el rendimiento y la ETc, también deducida de los datos Siquiera y Palacios (1985), UC y Rg, en frijol 'Canario 101' en clima templado y con UC y Rg, en ambas épocas de siembra, indica la existencia de otro factor o factores que limitan una mayor expresión del rendimiento. Esto sugiere que, para lograr una mayor respuesta a estos factores, debe considerarse en primera instancia ajustes en las prácticas de manejo del cultivo, por ser una de las estrategias más factibles de realizar.

Por otra parte, el valor de las UC encontrado aquí en ambos ciclos de siembras fue inferior al reportado por Robertson y Frazier (1978) para un óptimo crecimiento del frijol (1800 UC). Sin embargo, se considera que este valor en parte está en función del genotipo utilizado y fecha de siembra, como se demostró aquí.

Finalmente, en concordancia con Dirks y Bolton (1981), este tipo de estudios pueden contribuir a la identificación de los principales factores ambientales de riesgo para la producción en cada región agrícola, así como apoyar a la generación de modelos de predicción del rendimiento.

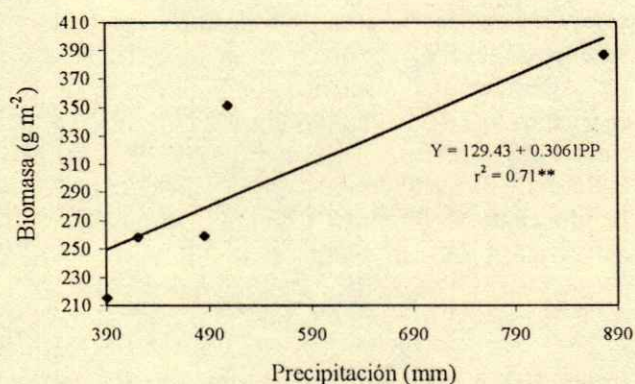


Figura 4. Relación biomasa (g m^{-2}) y precipitación pluvial (mm) en frijol de secano en verano. Iguala, Guerrero.

Cuadro 8. Biomasa, rendimiento, evapotranspiración estacional del cultivo (ETc), unidades de calor y radiación global (Rg) del frijol en Iguala, Guerrero (valores medio de las cinco fechas de siembra).

Experimento	Biomasa g m^{-2}	Rendimiento g m^{-2}	ETc mm	Unidades calor	Rg MJ m^{-2}
Invierno	415±27 a ¹	159±48 a	273±54	1454±156	1861±209
Verano	294±71 b	115±49 b	347±44	1440±246	2122±416
Prob. F	**	**	-	-	-
DSH 0.05	51.0	23.6	-	-	-

¹ Dentro de las columnas valores con letra similar son estadísticamente iguales (DSH 0.05).

** $P < 0.01$.

CONCLUSIONES

En una región de clima cálido, la producción de biomasa y rendimiento del frijol 'Michoacán 12-A-3' varía en función de la época y fecha de siembra. En ambas épocas de estudio, la variación en la producción de biomasa se determinó linealmente por la evapotranspiración del cultivo y, en menor grado, por la radiación solar y la integral térmica estacional denominada unidades calor. Por otra parte, el rendimiento en grano mostró una relación cuadrática con estos factores, siendo más alta con la evapotranspiración y, en menor grado, con la radiación solar y las unidades calor. La producción de biomasa y el rendimiento de las siembras invernales son superiores a los de verano, lo cual contrasta con la evapotranspiración y la radiación solar acumulada durante el ciclo del cultivo, las cuales fueron más bajas.

AGRADECIMIENTOS

A la Sra. Julia Corina Morales Pérez, por el trabajo de captura del presente escrito.

LITERATURA CITADA

- Bollero, G.A., D.G. Bullock y S.E. Hollinger. 1996. Soil temperature and planting date effects on corn yield, leaf area, and plant development. *Agron. J.* 88: 385-390.
- Carreker, J.R., W.E. Adames y H.D. Morris. 1972. Corn yields in relation to rainfall and cropping treatments. *J. Soil Water Conserv.* 27: 117-120.
- Dirks, V.A. y E.F. Bolton. 1981. Climatic factors contributing to year-to-year variation in grain yield of corn on Brookston Clay. *Can. J. Plant Sci. Cel:* 293-305.
- Doorenbos, J. y D.O. Pruitt. 1977. Crop water requirements. *Irrig. and Drain. Paper 24.* Food and Agric. Organization of the United Nations. Rome, Italy.
- Escalante Estrada, J.A. 1999. Area foliar, senescencia y rendimiento del girasol de humedad residual en función del nitrógeno. *Terra* 17: 149-157.
- Flores, M.J., J.L. Chan C. y A Bravo L. 1985. Fenología de maíz y frijol en el altiplano de Zacatecas. II Unidades calor (UC) y desarrollo fenológico. *Fitotecnia* 7: 66-81.
- Fuenzalida, J.P., R.E. Rodríguez H. y F. Santibáñez Q. 1993. Eficiencia en el uso del agua y productividad de maíz. Un modelo simple para predecir evapotranspiración del cultivo. *Agro-Ciencia. Chile.* 9(2): 87-99.
- García, E. 1973. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen (para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana). Instituto de Geografía, Universidad Nacional Autónoma de México. México, DF.
- Garlipp, G.W.E.A. 1976. The influence of rainfall on maize grain yield. *Agroplantea* 8: 21-22.
- Gilmore, E. y J.S. Rogers. 1958. Heat units as a method of measuring maturity in corn. *Agron. J.* 50: 611-615.
- Gimeno, V., J.M. Fernández-Martínez y E. Fereres, 1989. Winter planting as a means of drought escape in sunflower. *Field Crops Res.* 22: 307-316.
- Gregory, P.H., K.D. Shepherd y P.J.M. Cooper (1984). Effects of fertilizer on root growth and water use of barley in Northern Syria. *J. Agric. Sci.* 103: 429-438.
- Liang, B.C., A.F. MacKenzie, P.C. Kirby y M. RemiNard. 1991. Corn production in relation to water inputs and heat units. *Agron. J.* 83: 794-799.
- Muchow, R.C., T.R. Sinclair y J.M. Bennett. 1990. Temperature and solar radiation effects on potential maize yield across locations. *Agron. J.* 82: 338-343.
- Musick, J.T. y K.B. Porter. 1990. Wheat. pp. 597-638. *In:* B.A. Stewart y D.R. Nielsen (eds.). *Irrigation of agricultural crops.* Agronomy Monographs 30. American Society of Agronomy. Madison, WI.
- Musick, J.T., O.R. Jones, B.A. Stewart y D.A. Dusek. 1994. Water-Yield relationships for irrigated and dryland wheat in the US Southern Plains. *Agron. J.* 86: 980-986.
- Robertson, L.S. y R.D. Frazier. 1978. Dry bean production, principles and practices. Cooperative Extension Service Agric. Exp. Stn. Michigan State University. Ann Arbor, MI.
- Romo G., J.R. y R. Artcaga R. 1983. *Meteorología agrícola.* Departamento de Irrigación. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México.
- SAGAR. Secretaría de Agricultura, Ganadería y Desarrollo Rural. 1996. Anuario Estadístico de la producción agrícola de los Estados Unidos Mexicanos. Tomo II. Centro de Estadística Agropecuaria. México, DF.
- Shaw, R.H. 1988. Climate requirement. *In:* G.F. Sprague y J.W. Dudley (eds.). *Corn and corn improvement.* Agronomy Monographs 18. American Society of Agronomy. Madison, WI.
- Siqueira, P.R. y E. Palacios V. 1985. Función de respuesta del frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) a variaciones de humedad del suelo en tres etapas fenológicas y aspectos fisiológicos. *Agrociencia* 59: 39-54.
- Snyder, R.L. 1985. Hand calculating degree days. *Agric. For. Meteorol.* 35: 353-358.
- Undersander, D.J. y S. Christiansen. 1986. Interactions of water variables and growing degree days on heading phase of winter wheat. *Agric. For. Meteorol.* 38: 169-180.
- Wardlaw I.F. 1990. Translocación y relaciones de sitio de producción-sitio de utilización. pp. 259-295. *In:* P.S. Carlson (ed.). *Biología de la productividad de los cultivos.* AGT. México, DF.
- Wilson, D.R., R.C. Muchow y C.J. Murgatroyd. 1995. Model analysis of temperature and solar radiation limitations to maize potential productivity in cool climate. *Field Crops Res.* 43: 1-18.

PRODUCCION DE CIRUELO CON FERTIRRIEGO EN FUNCION DE CONTENIDOS DE HUMEDAD Y COBERTURAS ORGANICAS

Plum Production with Fertigation in Function Moisture Contents and Organic Mulches

Juan José Eduardo del Angel¹, Leonardo Tijerina Chávez¹, Rafael Acosta Hernández¹
y Alfredo López Jiménez²

RESUMEN

Con la finalidad de contribuir al conocimiento del uso y manejo eficiente del agua en frutales, se evaluó el efecto de tres grados de tensión de humedad y riego diario en combinación con dos tipos de cobertura orgánica y suelo desnudo (testigo) sobre el consumo de agua y producción del ciruelo (*Prunus salicina* Lindl.) cv. Methley con un sistema de fertirriego por goteo. El diseño experimental utilizado fue parcelas divididas con 12 tratamientos, distribuidos al azar con tres repeticiones. Los resultados indicaron que la cobertura de estiércol bovino conservó más la humedad en el suelo con un ahorro de agua de 20.1% y con la cobertura de paja de maíz se obtuvo 13.1%, comparados con el testigo sin cobertura y para el grado de tensión de humedad correspondiente a 30 kPa. En cuanto a rendimiento y calidad de frutos, los mejores resultados (6825.9 g árbol⁻¹ y 18.1 °Brix de concentración de azúcar) se obtuvieron con el tratamiento de cobertura de estiércol y riego diario.

Palabras clave: Riego por goteo, manejo de huertos, consumo de agua, conservación de la humedad, calidad y amarre de frutos.

SUMMARY

To contribute to knowledge of efficient water management in fruit tree production, the effects of three soil moisture tension levels were compared with daily irrigation, and two types of organic mulches were compared with bare soil in a plum (*Prunus salicina* Lindl.), cv. Methley, orchard irrigated with a

drip fertigation system. The experimental design was a split plot with 12 treatments randomly distributed with three replications. The results showed that cow manure mulch conserved more moisture in the soil (water savings of 20.1%), than maize stover mulch (13.1%), using the control treatment without mulch (bare soil) and the 30 kPa water tension level as the base. In yield and fruit quality, the best results (6825.9 g tree⁻¹ and 18.1 °Brix in sugar concentration) were obtained using cow manure mulch and daily irrigation.

Index words: Drip irrigation, orchard management, consumptive use, water conservation, quality and fruit set.

INTRODUCCION

Para optimizar el aprovechamiento del agua, se tiene la opción de utilizar cubiertas superficiales que pueden ser de tipo sintético (plásticos) y de material orgánico las cuales pueden ser altamente eficaces para conservar la humedad, prevenir el desarrollo de malezas, así como mejorar algunas propiedades físicas y químicas del suelo.

El uso de cubiertas superficiales de material orgánico en frutales tiene diversos efectos en el desarrollo de los árboles, dependiendo del tipo de cobertura, cantidad y forma de aplicación. Puede incrementarse la tasa de infiltración hasta 11 cm h⁻¹ (Razeto y Rojas, 1986), favorecer la conservación del agua y reducir la erosión (Schertz y Bushnell, 1993). La adición de materia orgánica en los suelos cumple dos funciones: una está ligada con el mejoramiento de las propiedades físicas del suelo por los efectos benéficos que se producen sobre los agregados y el espacio poroso, y la otra con el aporte de nutrientes para las plantas, ya que es fuente de N, P, K y de micronutrientes (Castellanos, 1984; Vaclav, 1999; López, 2001). Los beneficios que aportan los acolchados orgánicos a las plantas varían con el material utilizado, tipo de suelo, clase de planta y labores culturales realizadas, y no deben considerarse

¹ Instituto de Recursos Naturales, Colegio de Postgraduados. 56230 Montecillo, Estado de México. (tijerina@colpos.colpos.mx)

² Instituto de Recursos Genéticos y Productividad, Colegio de Postgraduados. 56230 Montecillo, Estado de México. (lopezja@colpos.colpos.mx)

como fertilizantes por su bajo aporte nutrimental, en relación con los efectos físicos (Starbuck, 2000).

El déficit de humedad en el suelo afecta la división celular, proceso indispensable en el crecimiento de las plantas y el daño ocasionado se relaciona directamente con la intensidad, duración y etapa fenológica del cultivo. Su efecto se manifiesta en la reducción de la transpiración, fotosíntesis y, finalmente, en la producción de biomasa (Chalmers *et al.*, 1985), por lo que el rendimiento y la calidad del producto se verán afectados (Shock *et al.*, 1998). El estrés hídrico induce también cambios en el sistema radicular, lo que afectará el abastecimiento de nutrientes y de agua a la planta, así como en la tolerancia de los árboles a las bajas temperaturas. Se considera que el crecimiento y la productividad de los cultivos es proporcional al uso del agua. Aunque un déficit de humedad en el suelo reduce normalmente la producción final; un estrés hídrico moderado puede llegar a mejorar la eficiencia del uso de agua y mejorar la calidad de los productos, por lo que se constituye en una herramienta útil en la fruticultura (Cohen, 1994). De aquí la importancia de analizar las relaciones hídricas de los frutales, para determinar la cantidad de agua necesaria por aplicar en árboles frutales (Hsiao, 1985).

Lo anterior permite establecer que es posible mejorar el uso y manejo del agua a escala de parcela, para conocer cómo intervienen las coberturas orgánicas en la conservación de la humedad en el suelo y determinar con mayor exactitud las necesidades hídricas de los frutales, de tal manera que puedan reducirse costos de producción y conservarse el recurso agua. El objetivo del presente estudio fue evaluar el efecto de dos coberturas orgánicas (estiércol bovino y paja de maíz picada) y del suelo sin cobertura (suelo desnudo), así como de tres grados de tensión de humedad en el suelo y riego diario, sobre el consumo de agua y en la producción y calidad de fruto de ciruelo (*Prunus salicina* Lindl.) cv. Methley con fertirriego.

MATERIALES Y METODOS

El estudio se realizó, durante 1999, en un huerto de ciruelo (*Prunus salicina* Lindl.) cv. Methley de 12 años de edad, injertado sobre patrón Mirobolano, que dispone para la aplicación del agua con un sistema de fertirriego con cinta de goteo, con emisores separados en la regante cada 30 cm, y un caudal de emisión de 0.85 L h^{-1} , con una presión de operación

de 0.7 kg cm^{-2} , el cual se encuentra ubicado en el Colegio de Postgraduados, Montecillo, estado de México.

El suelo es profundo a moderadamente profundo (90 a 150 cm), la textura varía con la profundidad de migajón arenosa a arenosa, bajo en materia orgánica y fertilidad, reacción ligera a extremadamente alcalina (Ortiz, 1979). El clima del lugar, de acuerdo con la clasificación de Köppen, modificado por García (1973), es templado subhúmedo con lluvias en verano. La precipitación media anual es de 582 mm y la temperatura media de $16 \text{ }^\circ\text{C}$ (Estación Meteorológica del Colegio de Postgraduados, Montecillo, 1988-1999).

Los tratamientos de cobertura consistieron en aplicar, en forma manual y en cada hilera de árboles, estiércol bovino seco (ES) y paja de maíz picada (PM), en bandas de 1.2 m de ancho por 5 cm de espesor, los cuales se han aplicado cada dos años, desde que se estableció el huerto en 1998. Se incluyeron, además, un tratamiento sin cobertura o suelo desnudo (SD); riego diario (T1) y tres tensiones de humedad en el suelo, 30 kPa (T2), 80 kPa (T3) y 150 kPa (T4). El diseño experimental fue un arreglo en parcelas divididas con distribución completamente al azar. La parcela grande estuvo constituida por dos tipos de cobertura y suelo desnudo, y la parcela chica por los tres contenidos de humedad y riego diario, con lo que se generaron 12 tratamientos, con tres repeticiones. La unidad experimental consistió de cinco árboles, de los cuales tres se consideraron como parcela útil. La fertilización se aplicó en el agua de riego (fertirriego) mediante el sistema de cintilla de goteo, en todos los tratamientos durante el período comprendido de febrero a junio de 1999, desde la brotación hasta la cosecha.

La fertilización fue uniforme para todos los tratamientos y se aplicó en tres etapas: 1) desde la brotación hasta el amarre de frutos 35.0 , 28.6 y 90 g árbol^{-1} de N, P y K, respectivamente; 2) desde amarre de fruto hasta la cosecha 70.0 , 83.9 y 120 g árbol^{-1} de N, P y K, respectivamente; y 3) desde la cosecha hasta la caída de hojas 70 y 120 g árbol^{-1} de N y K, respectivamente. Los fertilizantes comerciales utilizados fueron: nitrato de amonio, nitrato de potasio y ácido fosfórico. Los fertilizantes se aplicaron en el agua de acuerdo con el tratamiento de tensión de humedad, cada vez que en el suelo se llegaba al valor establecido para riego.

En el caso del riego diario (T1), la lámina aplicada se estimó en función de la evapotranspiración real del

cultivo (Etr), por el método del tanque evaporímetro tipo A, mencionado por Moya (1994); se siguió el procedimiento descrito por Moreno *et al.* (1999), de acuerdo con la siguiente expresión:

$$Etp = Kp Ev \quad (1)$$

Donde: Etp = evapotranspiración potencial del cultivo, en mm d⁻¹; Ev = evaporación medida en el tanque tipo A, en mm d⁻¹; y Kp = coeficiente de tanque.

La evapotranspiración real del cultivo (Etr, en mm d⁻¹) se obtiene de multiplicar la Etp calculada con la Ecuación 1, por el coeficiente de desarrollo del cultivo (Kc). La lámina de agua aplicada en cada riego se obtuvo diario de la lámina evapotranspirada por el cultivo calculada (Etr), incluyendo una fracción de lavado y la eficiencia del sistema; la lámina total se obtuvo con la sumatoria de las láminas parciales, aplicadas a lo largo del ciclo del cultivo. El volumen de agua dosificado se calculó con la relación que resulta de dividir la lámina de riego entre la superficie efectiva de riego y el tiempo de riego se obtuvo dividiendo el valor del volumen calculado entre el caudal del sistema.

El control de los grados de tensión de humedad restantes (T2, T3 y T4) se hizo con un medidor de humedad digital WATERMARK, modelo 30 KTCD, con sensores de resistencia eléctrica calibrados para las condiciones del área experimental.

Las características físicas del suelo que se determinaron fueron: textura, por el método de Bouyoucos; densidad aparente, por el método de la barrena de volumen conocido y la curva característica de humedad. Los datos experimentales para la elaboración de la curva característica de humedad del suelo se obtuvieron en el laboratorio con el método de la olla y membrana de presión (Aguilera y Martínez, 1980), para cada tipo de cobertura y para tres estratos, y se ajustaron mediante un modelo no lineal que relaciona el contenido de humedad con la tensión a partir de tres parámetros, de acuerdo con la siguiente expresión:

$$Ph = \{ [Q / (T + C)]^{1/n} - R \} (P_{cc} - P_{pmp}) + P_{pmp} \quad (2)$$

Donde: Ph es el contenido de humedad gravimétrico, %; P_{cc} y P_{pmp} son el contenido de humedad gravimétrico a capacidad de campo y punto de marchitez permanente, %; T es la tensión de humedad,

bares; y R, Q, n y C son parámetros y constantes representados por las expresiones siguientes:

$$R = [P_{pmp} / (P_{cc} - P_{pmp})]; Q = [K / (P_{cc} - P_{pmp})^n]$$

Donde: K = CP_sⁿ, con P_s = porcentaje de humedad a saturación, y n = [Ln (15 + C / 0.3 + C) / Ln (P_{cc} / P_{pmp})],

Donde: C = 1.1122q^{-7.4147}, con q = [Ln (P_s/P_{pmp}) / Ln (P_{cc} / P_{pmp})].

Con la Ecuación 2, se cuantificó la tensión para cada uno de los tratamientos expresada en contenido de humedad gravimétrico. Por otra parte, para determinar el contenido de humedad en el suelo, se instalaron sensores del dispositivo de medición WATERMARK; con lecturas registradas con el sensor, en kPa, y valores de humedad medidos con el método gravimétrico, en %, se corrió una regresión lineal cúbica con lo que se obtuvo la ecuación de calibración para los sensores, representada por la siguiente expresión:

$$Ph = -0.00002 (LS)^3 + 0.0042 (LS)^2 - 0.3437(LS) + 25.598 \quad (3)$$

Donde: Ph es el contenido de humedad gravimétrico, en %, y LS la lectura del sensor, expresada en kPa.

Después de determinar el contenido de humedad en el suelo con la Ecuación 3, la lámina de riego se obtuvo con la siguiente ecuación:

$$Lr = [(P_{cc} - Ph) / 100] \times Da \times Pr$$

Donde: Lr = lámina de riego, en cm; P_{cc} = contenido de humedad gravimétrico a capacidad de campo, %; Ph = contenido de humedad gravimétrico en el momento del muestreo, %; Da = densidad aparente, g cm⁻³; y Pr = profundidad de raíces, en cm.

Una vez que se obtuvo la lámina de riego (Lr) o el agua consumida por el cultivo, se pudo determinar el volumen de agua por adicionar y el tiempo de riego. La lámina total para cada tratamiento se obtuvo de la sumatoria de las láminas parciales, aplicadas en cada riego.

La productividad del agua se determinó en función de la cantidad de fruta producida por unidad de área (kg ha⁻¹), por unidad de agua aplicada (m³ ha⁻¹), de acuerdo con los conceptos de eficiencia de uso de agua vertidos por Al-Jamal *et al.* (2001). El ahorro de agua (en %), se determinó por regla de tres,

considerando la lámina de agua aplicada en el tratamiento sin cobertura como la de mayor consumo (100%).

En cada hilera de árboles se instalaron cuatro válvulas de control para poder manejar los cuatro grados de tensión de humedad establecidos como tratamientos.

Las variables en estudio fueron:

a) Tasa de crecimiento foliar (mm), la cual se cuantificó semanalmente, midiendo la longitud de cuatro hojas seleccionadas al azar de un árbol en cada unidad experimental. La tasa de crecimiento foliar se comparó para cinco fechas de medición, expresadas en grados días de desarrollo (GDD) acumulados. Los GDD acumulados se calcularon por el método residual (Torres, 1995) con base en las temperaturas máximas diarias (T_{max}), mínimas diarias (T_{min}), y temperatura base ($T_b = 4.5 \text{ }^\circ\text{C}$) del cultivo (Ramos, 1986). La fórmula empleada para el cálculo fue la siguiente:

$$GDD = \frac{T_{max} + T_{min}}{2} - T_b$$

La acumulación de GDD se inició cuando los árboles perdieron sus hojas, es decir, a partir del 1 de noviembre de 1998.

b) Amarre de frutos (%) se determinó contabilizando en cinco brotes de un árbol de cada unidad experimental el número de frutos que permanecieron en el brote a la cosecha, en relación con el total de frutos formados y contabilizados después de terminada la etapa de floración.

c) Rendimiento total (peso de fruto en g árbol^{-1}) se obtuvo al promediar el peso de los frutos colectados de los tres árboles que constituyeron la parcela útil de cada tratamiento y para cada repetición.

d) Calidad de fruta: en el momento de la cosecha se colectaron en forma aleatoria 15 frutos de cada tratamiento a los cuales se les hizo pasar por mallas de diferente diámetro, se determinó su peso promedio y se clasificaron en primera clase (frutos con peso mayor que 33 g), segunda clase (25 a 33 g) y de tercera clase (menor que 25 g); por otra parte, a estos mismos frutos también se les determinaron la concentración de azúcares ($^\circ\text{Brix}$) y su diámetro.

Se realizó un análisis de varianza a las variables en estudio y, a las que mostraron diferencias significativas, se les efectuó la prueba de comparación

múltiple de medias de Tukey ($\alpha \leq 0.05$). El paquete estadístico utilizado fue SAS, versión 6.12.

RESULTADOS Y DISCUSION

Para la misma tensión de humedad en el suelo de 30 kPa (T_2), se encontró que los tratamientos con estiércol (ES) y paja de maíz picado (PM), al favorecer la infiltración lenta y evitar pérdidas por evaporación, incrementaron el intervalo de riego al aplicar agua al cultivo cada ocho y siete días, respectivamente, en relación con el tratamiento sin cobertura (SD) en el que se regó cada cuatro días. Por consiguiente, con la cobertura de estiércol, se aplicó el menor número de riegos (16), seguido del tratamiento con cobertura de paja de maíz con 18 riegos y del tratamiento sin cobertura con 20 (Cuadro 1). Lo anterior pone de manifiesto la efectividad de las coberturas orgánicas en la conservación del agua en el suelo, lo cual concuerda con lo obtenido por Castellanos (1984) y Rocha *et al.* (1990), y que quedó demostrado al aplicar una menor cantidad de agua con el tratamiento con cobertura de estiércol (504.9 mm de lámina total). El segundo lugar en efectividad fue para el de paja de maíz picada con 549.0 mm, comparado con el tratamiento sin cobertura en el que se aplicaron 632.1 mm de lámina. Esto se reflejó finalmente en el ahorro de agua de riego de 20.1 y 13.1%, obtenido con las coberturas de estiércol y paja de maíz, respectivamente, en relación con el agua aplicada al SD. El comportamiento observado para el tratamiento de 30 kPa fue similar en las tensiones de humedad de 80 y 150 kPa (Cuadro 1).

Respecto a la productividad del agua, se encontraron diferencias significativas para la interacción cobertura y contenido de humedad sólo para el tratamiento de riego diario (T_1). La mayor productividad del agua se obtuvo con la interacción ($T_1 \times ES$), seguida por la interacción ($T_1 \times PM$), en último lugar quedó la interacción ($T_1 \times SD$). En cuanto al porcentaje de agua ahorrada, con la cobertura de estiércol se registró un ahorro de 36.4% respecto al suelo desnudo, cuando la tensión fue de 80 kPa (Cuadro 1).

En general, se encontró que las coberturas de estiércol y paja de maíz picada, aplicadas al cultivo del ciruelo, ayudaron a la conservación del agua en el suelo al obtener un ahorro importante de este recurso y mejorar su aprovechamiento con el incremento de la productividad.

Cuadro 1. Consumo, ahorro y productividad del agua del ciruelo en función de la aplicación de coberturas orgánicas y contenidos de humedad.

	Tipo de cobertura	Tensión de humedad en el suelo			
		Riego diario	30 kPa	80 kPa	150 kPa
Intervalo de riego (días)	Suelo desnudo		4	7	14
	Paja de maíz		7	13	17
	Estiércol bovino		8	14	19
Número de riegos	Suelo desnudo		20	17	12
	Paja de maíz		18	14	10
	Estiércol bovino		16	11	8
Lámina total (mm) [†]	Suelo desnudo	717.0	632.1	569.4	459.6
	Paja de maíz	717.0	549.0	442.4	429.3
	Estiércol bovino	717.0	504.9	362.4	319.4
Productividad del agua (kg de fruto m ⁻³) [‡]	Suelo desnudo	2.2b	2.7a	3.0a	4.9a
	Paja de maíz	3.7ab	4.0a	5.1a	5.6a
	Estiércol bovino	4.9a	3.9a	5.4a	5.6a
Agua ahorrada (%) [§]	Suelo desnudo		-	-	-
	Paja de maíz		13.1	22.3	6.6
	Estiércol bovino		20.1	36.4	30.5

[†] Valores de lámina de riego acumulada por tratamiento de humedad y por cobertura en todo el ciclo del cultivo.

[‡] Medias con la misma letra en la misma columna son estadísticamente iguales, Tukey ($\alpha \leq 0.05$).

[§] Porcentaje de agua ahorrada por tratamiento de humedad y por cobertura en relación con la lámina total aplicada en el tratamiento sin cobertura (suelo desnudo).

Crecimiento Foliar

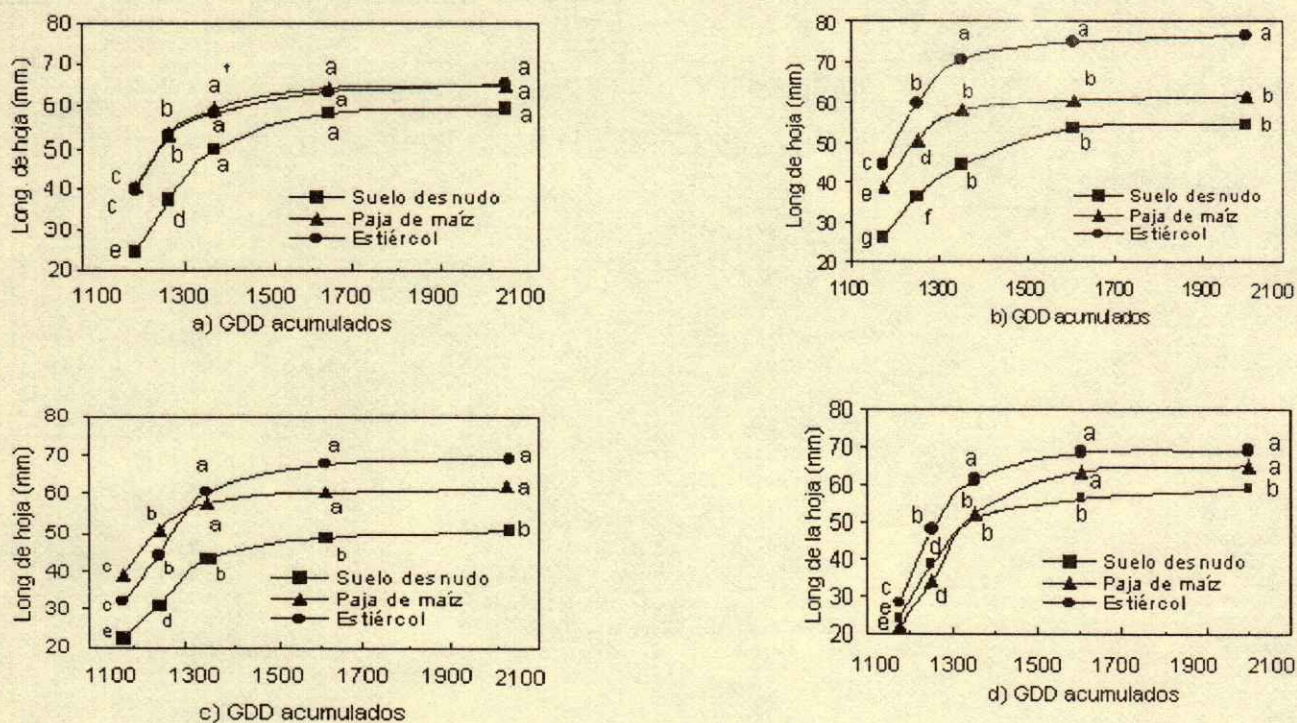
Al hacer la comparación de medias y considerar, por separado, el efecto de los factores cobertura y contenido de humedad: para el factor cobertura, se encontró que hubo diferencias significativas (Tukey $\alpha \leq 0.05$) en cuanto al crecimiento foliar con la aplicación de las coberturas de estiércol y paja de maíz, en relación con el testigo sin cobertura para las tres últimas fechas de muestreo, correspondientes al 1, 8 y 16 de abril (1353, 1606 y 2001 GDD acumulados) y para los tratamientos más secos (Figuras 1c y 1d). Por otra parte, en la Figura 1a, se observa que las coberturas de estiércol y paja de maíz picada tuvieron el mismo efecto sobre el crecimiento foliar al no haberse encontrado diferencias significativas (Tukey $\alpha \leq 0.05$) entre ellas, ni con el SD y cuando el agua no fue una limitante (riego diario), a excepción de las dos primeras fechas de muestreo del 16 y 23 de marzo (1173 y 1251.8 GDD acumulados), cuando el suelo desnudo presentó crecimientos foliares menores.

Para el factor humedad, el mayor efecto de la tensión de humedad en el suelo sobre el crecimiento de las hojas se encontró con el tratamiento de riego diario (T1) y el menor con el tratamiento más seco T4 (150 kPa), para la fecha de medición del 16 de marzo

(1173 GDD acumulados) y en los diferentes tipos de coberturas (Figuras 1a y 1b).

Para la interacción tipo de cobertura y contenido de humedad, el análisis estadístico mostró que existen diferencias significativas y el mayor crecimiento de hojas (Tukey $\alpha \leq 0.05$) se obtuvo con la cobertura de estiércol y contenido de humedad T2 (30 kPa) para las dos primeras fechas de muestreo (Figura 1b), correspondientes al 16 y 23 de marzo (1173 y 1251.8 GDD acumulados). En la misma figura, se observa un comportamiento similar en el crecimiento foliar con la cobertura de paja de maíz y tratamiento sin cobertura, para las mismas fechas de muestreo, pero inferior al tratamiento con estiércol.

En general, puede decirse que el mayor efecto sobre el crecimiento de hojas se tuvo cuando existió una mayor disponibilidad de agua (riego diario) en el suelo para ser aprovechada por el árbol, lo cual coincide con lo expresado por De Santa Olalla y De Juan Valero (1993), y se prolongó cuando el suelo se protegió con la cobertura de estiércol que evitó la pérdida de agua por evaporación y conservó más la humedad, que concuerda con lo reportado por Castellanos (1984), Rocha *et al.* (1990) y Schertz y Bushnell (1993), mientras que cuando hay un déficit hídrico, los efectos más visibles son: la reducción del tamaño de planta y superficie foliar, como sucedió



† Valores con la misma letra en la misma línea son iguales, según Tukey ($\alpha \leq 0.05$).

Figura 1. Tasa de crecimiento foliar en función de GDD, tipo de cobertura y contenido de humedad. a) riego diario, b) 30 kPa, c) 80 kPa y d) 150 kPa.

con el tratamiento T4 (150 kPa). Es importante señalar, que el crecimiento foliar tiene relación estrecha con el rendimiento y la calidad de los frutos, ya que la planta, al tener una mayor área foliar, puede sintetizar una mayor cantidad de carbohidratos y la energía que de aquí se desprende puede utilizarse en la producción de frutos.

Amarre de Fruto

El análisis de varianza mostró que existen diferencias estadísticas significativas para la interacción cobertura y humedad en el amarre de frutos; de acuerdo con la prueba de comparación de medias (Tukey $\alpha \leq 0.05$), el mayor amarre de frutos se obtuvo con la cobertura de estiércol y contenido de humedad T1, con riego diario (Cuadro 2). Lo anterior se debe a que, cuando existe una mayor disponibilidad de agua y, por lo tanto, una mayor disponibilidad de nutrientes para la planta, hay un mayor amarre de frutos.

Por otra parte, cabe señalar que los tratamientos de humedad establecidos en suelo desnudo presentaron el menor porcentaje de amarre (Cuadro 2). Sin embargo, para el contenido de humedad T1 (riego diario), donde se esperaba un mayor amarre de frutos, esto no ocurrió así y fue superado por el tratamiento más seco (T4). Esto se debió, en parte, a que la mayor frecuencia de riego provocó el adelanto y la reducción del periodo de floración, por lo que ésta fue afectada fuertemente por las heladas tempranas y, a medida que el intervalo de riego se incrementó, como en el caso de los tratamientos T2, T3 y T4, el periodo de floración se alargó. El daño en éstos fue menor, lo cual se reflejó, de manera directa, en el amarre de frutos y se demostró al presentarse esta misma tendencia en el rendimiento total.

En general, se puede decir que el amarre de fruto en los tratamientos evaluados fue bajo, ya que osciló entre 10 y 25%, comparado con la autofertilidad de 31%, reportada por Almaguer (1986), para el

Cuadro 2. Rendimiento total y por tamaño de fruto y amarre de fruto de acuerdo con el efecto de cobertura y contenido de humedad.

Tipo de cobertura	Contenido de humedad kPa	Rendimiento				Amarre de fruto %
		Total	Primera	Segunda	Tercera	
		g árbol ⁻¹				
Suelo desnudo	Riego diario	3009.1 b	179.4 b	1445.8 b	1383.9 a	11.4 b
	30	3305.2 b	83.3 b	1284.8 b	1937.1 a	12.3 b
	80	3319.1 b	146.8 b	1129.8 b	1942.5 a	12.1 b
	150	4364.0 ab	34.4 b	1206.9 b	3122.8 a	17.3 a
Paja de maíz	Riego diario	5212.9 a	677.7 a	2746.8 a	1788.3 a	19.1 a
	30	4284.0 ab	225.0 b	2019.4 b	2039.6 a	16.0 a
	80	4387.3 ab	116.9 b	1604.1 b	2666.3 a	16.7 a
	150	4664.1 ab	191.9 b	1851.6 b	2620.6 a	17.3 a
Estiércol bovino	Riego diario	6825.9 a	975.6 a	2826.2 a	3024.1 a	24.6 a
	30	3834.0 b	340.1 b	1624.7 b	1869.2 a	14.3 b
	80	3848.2 b	255.3 b	1567.5 b	2025.4 a	14.6 b
	150	3497.6 b	427.7 b	1765.8 b	1304.1 a	12.5 b
CV		23.01	93.78	28.47	35.72	20.34
Nivel de significancia		*	*	*	NS	**
Factor		(C x H)	(H)-(C)	(H)	(C x H) (H)-(C)	(C x H)

Medias con la misma letra en la misma columna son estadísticamente iguales (Tukey, $\alpha \leq 0.05$).

*, **, NS = Significancia a 0.05, 0.01 y no significativo, respectivamente.

Primera (mayor que 33 g); segunda (25 a 33 g); tercera (menor que 25 g).

cv. Methley. Los bajos valores obtenidos se debieron a que en la etapa de floración y polinización se presentaron heladas que afectaron considerablemente la formación de frutos. Esto concuerda con lo expresado por Luckwill (1974) y Jackson y Palmer (1977), al mencionar que el factor que mayor efecto tiene sobre el amarre de fruto es la temperatura, ya sea baja o alta, una o dos semanas posteriores al inicio de la floración.

Rendimiento de Fruto

El análisis de varianza mostró que sólo existen diferencias significativas para la interacción cobertura y contenido de humedad sobre el rendimiento total de frutos. De acuerdo con el análisis de comparación de medias (Tukey $\alpha \leq 0.05$), para la interacción cobertura y contenido de humedad, los tratamientos con coberturas de estiércol y paja de maíz con riego diario (ES x T1 y PM x T1) son los que presentaron el mayor rendimiento, 6825.9 y 5212.9 g árbol⁻¹, respectivamente, siendo estadísticamente iguales y el menor rendimiento fue para el tratamiento sin cobertura (suelo desnudo) con riego diario (SD x T1) con 3009.1 g árbol⁻¹ (Cuadro 2). Este comportamiento se debe a que, cuando existe una mayor disponibilidad de agua en el suelo, como en el caso del riego diario

(T1), la planta puede absorber con mayor facilidad el agua y los nutrimentos que necesita para su desarrollo. Por otra parte, las coberturas de estiércol (ES) y de paja de maíz (PM) evitaron que el agua se perdiera por evaporación y ayudaron a mejorar las características físicas y de fertilidad del suelo (López, 2001), propiciando una mayor retención de agua (Cuadro 1) y mayor concentración de N, P y K, que coincide con lo expresado por Trocmé y Gras (1972), Castellanos (1984), Schertz y Bushnell (1993) y Starbuck (2000).

Para el rendimiento de primera clase, el análisis de varianza mostró que existen diferencias estadísticas entre tratamientos de cobertura y contenido de humedad. El análisis por comparación de medias (Tukey $\alpha \leq 0.05$) mostró que hubo un mayor efecto sobre el rendimiento de primera clase con la cobertura de estiércol (ES), en segundo lugar quedó la cobertura de paja de maíz (PM). Al considerar sólo el contenido de humedad, el mayor efecto se tuvo con riego diario (T1). Lo anterior indica que la aplicación de las coberturas de estiércol y de paja de maíz ayudaron a incrementar la calidad de los frutos del ciruelo, por mejorar las propiedades físicas y de fertilidad del suelo, lo que dio por resultado una mayor retención y disponibilidad de agua y nutrimentos. Por otra parte, con la aplicación del riego diario (T1), también se

Cuadro 3. Parámetros de calidad del fruto por clase de acuerdo con el efecto tipo de cobertura y contenido de humedad.

Tipo de cobertura	Contenido de humedad	Concentración de azúcares			Peso			Diámetro		
		Primera	Segunda	Tercera	Primera	Segunda	Tercera	Primera	Segunda	Tercera
	kPa	°Bx			g			mm		
Suelo desnudo	R. diario	18.0 ab	16.1 a	16.2acd	38.8 a	28.0 a	22.1 a	25.0 a	20.4 a	17.8 a
	30	15.8 b	16.0 a	15.2bcd	34.6 ab	27.2 a	21.5 a	22.8 ab	20.0 a	17.4 a
	80	15.8 b	15.9 a	15.7acd	34.4 ab	28.8 a	21.9 a	22.7 ab	20.8 a	17.8 a
	150	15.0 b	15.7 a	14.8 bd	36.1 ab	26.9 a	21.3 a	23.1 ab	19.7 a	17.1 a
Paja de maíz	R. diario	18.0 ab	16.1 a	15.5acd	34.6 ab	28.4 a	22.0 a	22.5 b	20.7 a	17.5 a
	30	17.2 ab	16.7 a	15.6acd	34.6 ab	28.6 a	21.1 a	23.4 ab	20.7 a	17.1 a
	80	16.2 ab	16.7 a	15.7acd	33.7 ab	27.7 a	21.4 a	22.7 ab	20.6 a	17.2 a
	150	16.2 ab	16.9 a	17.0acd	34.4 ab	28.7 a	22.3 a	22.8 ab	20.8 a	17.4 a
Estiércol bovino	R. diario	18.1 a	17.6 a	17.7 ac	35.9 ab	29.0 a	22.4 a	23.5 ab	21.0 a	18.0 a
	30	19.5 a	18.8 a	18.2 a	35.2 ab	28.5 a	23.0 a	22.8 ab	20.5 a	18.2 a
	80	18.5 a	18.2 a	17.3acd	35.1 ab	29.3 a	22.7 a	22.8 ab	20.9 a	18.1 a
	150	18.2 a	17.1 a	16.4acd	37.0 ab	29.5 a	21.1 a	24.0 ab	21.2 a	17.4 a
C.V.		7.82	3.45	5.61	3.24	3.69	4.89	2.34	2.93	4.61
Nivel de significancia		*	NS	*	**	*	NS	**	*	NS
Factor		C	CxH-C-H	CxH-C-H	C x H	C	CxHC-H	C x H	C	CxH-C-H

Medias con la misma letra en la misma columna son estadísticamente iguales (Tukey $\alpha \leq 0.05$).

*. **, NS = Significancia a 0.05, 0.01 y no significativo, respectivamente.

mejoraron el rendimiento y la calidad de los frutos, al aumentar la disponibilidad de agua y de nutrimentos en el suelo, requiriéndose un menor gasto de energía para su extracción (Cuadro 2). Esto coincide con lo expresado por Chalmers *et al.* (1985), en relación con que la producción y el tamaño del fruto es proporcional al uso del agua; por el contrario, si el abastecimiento no es el adecuado, se reduce la producción de biomasa.

En cuanto al rendimiento de frutos de segunda clase, el análisis de varianza mostró diferencias estadísticas significativas sólo para el factor contenido de humedad y, de acuerdo con los resultados del análisis de comparación de medias (Tukey $\alpha \leq 0.05$), el mayor efecto se tuvo con el riego diario (T1) y el menor con T3 (80 kPa), como se puede observar en el Cuadro 2.

Para los frutos de tercera (Cuadro 2), el análisis de varianza no mostró diferencias estadísticas significativas y el mayor rendimiento se obtuvo con el tratamiento de suelo desnudo (SD) con contenido de humedad T4 (150 kPa) y el menor con la cobertura de estiércol (ES) con el mismo contenido de humedad; lo anterior se explica ya que, al haber una menor disponibilidad de agua en el suelo, la planta produce la mayoría de sus frutos de menor tamaño.

Calidad de Fruto

El análisis estadístico para peso y diámetro de fruto mostró que existen diferencias significativas en la interacción (C x H). En frutos de primera calidad, de acuerdo con el análisis de comparación de medias (Tukey $\alpha \leq 0.05$), el mayor peso y diámetro se encontró con riego diario (T1) y suelo sin cobertura (SD), (Cuadro 3). Los valores obtenidos para el peso de fruto son similares a los reportados por Florez (1994) y Berlanga (1996), y oscilaron en un rango de 22.9 a 34.6 g.

El análisis estadístico para concentración de azúcares (°Brix) en frutos de ciruelo mostró que existen diferencias significativas en la interacción tipo de cobertura y contenido de humedad (C x H) para los frutos de tercera calidad y la mayor concentración, de acuerdo con la prueba de medias (Tukey $\alpha \leq 0.05$), se obtuvo con la cobertura de estiércol (ES) con contenido de humedad T2 (30 kPa), mientras que la menor se obtuvo con el contenido de humedad T4 (150 kPa) sin cobertura.

También se encontraron diferencias significativas cuando se consideró sólo el factor tipo de cobertura en la calidad de frutos de primera y tercera clase. La prueba de comparación de medias (Tukey $\alpha \leq 0.05$)

indicó que la cobertura de estiércol fue la que presentó una mayor concentración de azúcares, en °Brix, (Cuadro 3).

De acuerdo con los valores obtenidos (14.8 a 19.5 °Brix), la concentración de azúcares en los frutos de ciruelo se encuentra dentro del intervalo normal y por arriba de los reportados por Villar (1989), entre 13.1 y 15.6 °Brix para el cv. Methley y semejantes a los encontrados por Berlanga (1996) de 15.7 y 18.0 °Brix. Por otra parte, al analizar los tres tipos de calidad de los frutos (1a, 2a y 3a clase), se encontró que existe una relación directa entre el diámetro o el peso del fruto y la concentración de azúcares, es decir, a menor tamaño o peso se tiene una menor concentración de azúcares y *viceversa* (Cuadro 3).

CONCLUSIONES

Para la misma tensión de humedad en el suelo de 30 kPa (T2) se encontró, que la cantidad total de agua aplicada en el ciruelo fue menor cuando el suelo se cubrió con las coberturas orgánicas de estiércol y paja de maíz que cuando no hubo cobertura (SD), con láminas de 504.9, 549.0 y 632.1 mm, respectivamente, lo que se reflejó finalmente en ahorro de agua de 20% en la cobertura de estiércol y de 13% en la de paja de maíz en relación con el tratamiento sin cobertura. El comportamiento observado para T2 (30 kPa) fue similar en los tratamientos con tensiones de humedad de 80 y 150 kPa.

La mayor productividad del agua se obtuvo con las interacciones de riego diario con las coberturas de estiércol y paja de maíz (ES x T1 y PM x T1), quedando en último lugar la obtenida con SD x T1.

El crecimiento foliar se vio favorecido cuando existió una mayor disponibilidad de agua en el suelo, sobresaliendo el tratamiento de estiércol y riego diario.

En cuanto al amarre de frutos, el mayor efecto también se logró con el tratamiento de estiércol y riego diario.

La interacción tipo de cobertura y contenido de humedad (C x H) tuvo un efecto positivo sobre el rendimiento total y los mayores rendimientos (6825.9 y 5212.9 g árbol⁻¹) y calidad de fruto de primera y segunda clase se obtuvieron con las coberturas de ES y PM y riego diario (ES x T1 y PM x T1); por otra parte, en el tratamiento con tensión de humedad en el suelo de 150 kPa y sin cobertura produjo el mayor número de frutos pequeños clasificados como de tercera calidad. Con la cobertura de estiércol se

mejoró la calidad de los frutos en cuanto al diámetro ecuatorial, peso y concentración de azúcares a valores superiores a los reportados para esta misma variedad.

LITERATURA CITADA

- Aguilera C., M. y R. Martínez E. 1980. Relaciones agua suelo planta atmósfera. 2a ed. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México.
- Al-Jamal, M., S.S. Bell y T.W. Sammis. 2001. Comparison of sprinkler, trickle and furrow irrigation efficiencies for onion production. *Agric. Water Manage.* 46: 253-266.
- Almaguer V., G. 1986. Caracterización de cuatro cultivares de ciruelo japonés *Prunus salicina* Lindl. en Chapingo, México. Tesis de Maestría. Colegio de Postgraduados. Chapingo, México.
- Berlanga R., D.I. 1996. Efecto del boro y el anillado en el amarre y la calidad del fruto de ciruelo japonés (*Prunus sp.*). Tesis de Maestría. Colegio de Postgraduados. Montecillo, México.
- Castellanos R., J.Z. 1984. El estiércol para uso agrícola en la región Lagunera. Folleto Técnico 1. Campo Agrícola Experimental de La Laguna. Matamoros, Coah., México.
- Chalmers, D.J., P.D. Mitchel y P.H. Jerie. 1985. The relation between irrigation, growth and productivity of peach. *Acta Horticulturæ* 173: 283-288.
- Cohen, M. 1994. Cálculo y control del riego en cultivos arbóreos. pp. 1-35. *In: Producción y economía de frutos secos.* Institut de Recerca i Tecnologia Agroalimentaries (IRTA). Barcelona, España.
- De Santa Olalla M, F.M. y J.A. De Juan Valero. 1993. Agronomía del riego. Mundi-Prensa. Madrid, España.
- Florez M., A.J. 1994. Evaluación de aplicación de Ethrel y cloruro de calcio en maduración de ciruelo japonés (*Prunus salicina* LxP. Cerasifera E.) cv. Methley. Tesis de Maestría. Colegio de Postgraduados. Montecillo, México.
- García, E. 1973. Modificaciones al sistema de clasificación de Köppen. Universidad Autónoma de México. México, DF.
- Hsiao, T.C. 1985. Physiological aspects of water use by trees. pp. 68-71. *In: D. Ramos (ed.). Walnut orchard management.* Cooperative Extension Service. University of California. Davis, CA.
- Jackson, J.E. y J.W. Palmer. 1977. Effects of shade on the grow and cropping of apple trees. II. Effects on components of yield. *J. Hort. Sci.* 52: 253-266.
- López J., A. 2001. Fisiología, nutrición y producción del ciruelo en función del tipo de coberturas orgánicas en suelo con pH alcalino. Tesis Doctoral. Colegio de Postgraduados. Montecillo, México.
- Luckwill, L.C. 1974. A new look at the process of fruit formation in apple. pp. 237-245. *In: Proc. 19th. Int. Hort. Congr. Vol. 3.* International Society of Horticultural Sciences. Warszawa, Poland.
- Moreno A., S., L. Tijerina Ch., R. Acosta H., V.M. Ruiz C., F.S. Zazueta. R. y G. Crespo P. 1999. Automatización de un sistema de riego localizado, aplicado a una plantación de durazno. *Agrociencia* 33: 191-197.
- Moya T., J.A. 1994. Riego localizado y fertirrigación. Mundi-Prensa. Madrid, España.
- Ortiz S., C.A. 1979. Levantamiento de suelos del campo experimental de Montecillo. Rama de Suelos. Colegio de Postgraduados. Chapingo, México.

- Ramos V., R. 1986. Cianamida de hidrógeno en la terminación de reposo de yemas de ciruelo japonés (*Prunus salicina* Lindl.) en Chapingo, México. Tesis de Maestría. Colegio de Postgraduados. Montecillo, México.
- Razeto B. y S. Rojas. 1986. Fertilizantes nitrogenados en duraznero. *Agric. Téc.* 46: 41-51.
- Rocha M., R., J.L. Tovar S., C.A. Ortiz S. y C. Ramírez A. 1990. Efecto de coberturas orgánicas sobre el comportamiento de la humedad y temperatura del suelo. *Agrociencia* 1: 127-140.
- Schertz, D.L. y J.C. Bushnell. 1993. Crop residue management action plans. *J. Soil Water Conserv.* 48: 175-184.
- Shock, C.C., E.B.G. Feibert y L.D. Saunders. 1998. Onion yield and quality affected by soil water potential as irrigation threshold. *HortScience* 33: 1188-1191.
- Starbuck, C.J. 2000. Mulches. University Extension. University of Missouri. Columbia, MO.
- Torres R., E. 1995. *Agro-Meteorología*. 1a ed. Trillas. México.
- Trocmé S. y R. Gras. 1972. *Suelos y fertilización en fruticultura*. Trad. al español por J.I. de la Vega. Mundi-Prensa. Madrid, España.
- Vaclav, S. 1999. Crop residues. Agriculture's largest harvest. *BioScience* 49: 299-308.
- Villar M., M.A. 1989. Efectos de la poda de verano en ciruelo japonés (*Prunus salicina* Lindl.). Tesis de Maestría. Colegio de Postgraduados. Montecillo, México.

INOCULACION DE BACTERIAS PROMOTORAS DE CRECIMIENTO EN LECHUGA

Inoculation of Plant Growth-promoting Bacteria in Lettuce

P. Díaz Vargas¹, R. Ferrera-Cerrato^{1†}, J.J. Almaraz-Suárez¹ y G. Alcántar González¹

RESUMEN

En condiciones de laboratorio, se evaluó el efecto de 30 cepas bacterianas en la germinación y el crecimiento del cultivo de lechuga (*Lactuca sativa* L. var. Longifolia). En la germinación se encontraron diferencias altamente significativas entre los efectos de los tratamientos. La cepa *Hafnia alvei* P-3 incrementó la germinación en más de 36.5% con respecto al testigo; en contraste, las cepas 7PS y 11PS de *Pseudomonas aeruginosa* inhibieron la germinación. El crecimiento de la planta fue promovido por todas las cepas inoculadas, con excepción de la cepa *H. alvei* P-25 que tuvo igual efecto que el testigo. La mayor estimulación del crecimiento se obtuvo con la cepa R1B (no identificada), la cual incrementó el peso fresco en 277%, el peso seco en 371%, el área foliar en 240% y el volumen radical en 300%. Los resultados sugieren que las bacterias promotoras de crecimiento tienen potencial para emplearse en la producción de plántulas de interés hortícola.

Palabras clave: Rizosfera, rizobacteria, aislamiento, propagación.

SUMMARY

Thirty strains of bacteria were evaluated for their effect on germination and growth of lettuce (*Lactuca sativa* L. var. Longifolia). For germination, highly significant differences were found among the effects of the treatments. The strain *Hafnia alvei* P-3 increased germination more than 36.5% relative to the control. In contrast, the *Pseudomonas aeruginosa* strains 7PS and 11PS inhibited germination. The growth of the plant was promoted by all of the inoculating strains except *H. alvei* P-25, which had the same effect as the

control. The largest effect on growth was obtained with the R1B strain (unidentified), which increased fresh weight by 277%, dry weight by 371%, leaf area by 240% and root volume by 300%. The results suggest that the growth-promoting bacteria are potentially useful in the production of vegetable seedlings.

Index words: Rhizosphere, rhizobacteria, isolation, propagation.

INTRODUCCION

En años recientes, se ha retomado el interés de utilizar bacterias promotoras de crecimiento en la producción de cultivos. Estas bacterias se han aplicado a semillas, tubérculos o raíz, y son capaces de colonizar las raíces de las plantas y estimular el crecimiento y rendimiento de cultivos (Chanway *et al.*, 1989). Los mecanismos del efecto de las bacterias promotoras de crecimiento no son bien comprendidos, sin embargo, se ha sugerido un amplio rango de posibilidades que incluye efectos directos o indirectos. El efecto directo consiste en un aumento en la movilización de nutrientes solubles, seguido por el mejoramiento de absorción de las plantas (Lifshitz *et al.*, 1987), la producción de antibióticos para hongos, bacterias y virus (Hoffland *et al.*, 1997) y de fitohormonas (auxinas, giberelinas, citocininas y etileno) (Schroth y Weinhold, 1986; Chanway, 1997). Efectos indirectos incluyen el aumento de fijación de N₂, al mejorar el número de nódulos de la raíz y el aumento de la actividad nitrogenasa (Zhang *et al.*, 1996), los cuales inducen resistencia sistémica a la planta (Chanway, 1997).

Se conoce un gran número de bacterias de vida libre o asociativas que fijan N₂, pero sólo algunas destacan por su potencial como biofertilizantes o promotoras de crecimiento. Entre los géneros más conocidos están *Azotobacter*, *Beijerinckia*, *Derxia* y *Azospirillum*, dentro del grupo de aerobias; en las aerobias facultativas se presentan *Enterobacter*, *Pseudomonas* y *Bacillus*; y los géneros de bacteria anaerobia *Metanobacterium*, *Clostridium* y

¹Instituto de Recursos Naturales, Colegio de Postgraduados. 56230 Montecillo, México. †(ronaldfc@colpos.colpos.mx)

Desulfovibrio (Beringer, 1984; Ferrera-Cerrato, 1995; Rodríguez, 1995). La mayoría de los microorganismos se encuentran interactuando en la rizosfera (región del suelo alrededor de la raíz de la planta influenciada por su metabolismo), donde el ambiente es distinto del resto de la zona edáfica. Uno de los fenómenos importantes que se produce en la rizosfera es la presencia de una gran variedad de sustancias orgánicas, como aminoácidos, ácidos orgánicos, carbohidratos, derivados de ácidos nucleicos, factores de crecimiento y enzimas que, directa o indirectamente, tienen influencia positiva o negativa sobre los microorganismos que ahí habitan (Ferrera-Cerrato, 1995).

Se conoce que algunos géneros de *Azospirillum* y *Azotobacter* penetran la corteza de la raíz y producen fitohormonas como giberelinas, auxinas (ácido indolacético), citocininas, ácido abscísico y fijan N₂ (Curl y Truelove, 1986; Lynch, 1990), lo que estimula el crecimiento, la producción de raíces laterales y pelos radicales que, a su vez, favorecen la absorción de nutrimentos (De Freitas y Germida, 1992) e incrementan el rendimiento en gramíneas (Taller y Wong, 1989; Bashan *et al.*, 1993).

Se tiene evidencia de que algunas especies de *Pseudomonas* incrementan la absorción de nutrimentos, como N, P y K, además de servir como biocontrol de hongos fitopatógenos y producir fitohormonas en la rizosfera, lo cual promueve mayor crecimiento de las plantas. En general, *P. fluorescens* puede promover el crecimiento de las plantas, vía producción de sideróforos extracelulares que secuestran óxidos férricos para convertirlos en formas disponibles para las raíces, además que incrementa el volumen radical (Peter *et al.*, 1987). Dichas bacterias se concentran en el rizoplano y varían la proporción de acuerdo con los cultivos, por ejemplo, Vlassack *et al.* (1992), al inocular *P. fluorescens* en el rizoplano del plátano, encontraron 10.8% más población que en rizoplano de arroz (4.35%), en comparación con las plantas sin inocular, respectivamente.

Los compuestos inorgánicos insolubles de fósforo [Ca₃(PO₄)₂] no están totalmente disponibles para las plantas, pero éstos pueden convertirse, por bacterias solubilizadoras de P, en fosfatos di y monobásicos, formas asimilables para las raíces de las plantas. Las principales especies activas en esta conversión pertenecen a los géneros: *Pseudomonas*, *Mycobacterium*, *Micrococcus*, *Bacillus* y

Flavobacterium (Alexander, 1981; Asea *et al.*, 1988; Salih *et al.*, 1989).

Los resultados experimentales indican que las respuestas en incremento de las cosechas por la aplicación de biofertilizantes son variables e impredecibles, lo cual enfatiza la necesidad de refinamiento en la producción de los mismos, la distribución y uso de las técnicas apropiadas para su empleo (Hegde y Dwivedi, 1994; Katyal *et al.*, 1994).

El presente trabajo tuvo como objetivo evaluar el efecto promotor de las cepas bacterianas en la germinación y crecimiento de lechuga (*Lactuca sativa* L. var. Longifolia) en condiciones de laboratorio e invernadero, respectivamente.

MATERIALES Y METODOS

La investigación se realizó en el Área de Microbiología, Especialidad de Edafología del Instituto de Recursos Naturales, Colegio de Postgraduados, Montecillo, estado de México.

Activación y Propagación de las Bacterias

Se utilizaron 30 cepas bacterianas, las cuales fueron proporcionadas por el laboratorio de germoplasma microbiano del Área de Microbiología de Suelos. Algunas de las cepas, usadas en el experimento, se han caracterizado como promotoras de crecimiento, ya sea por fijar N₂, antibiosis o solubilizar fosfato (Cuadro 1). Para activarlas, se sembraron con una asa de platino en cajas petri con agar nutritivo (Merck) esterilizado a 124.2 x 10³ Pa durante 18 min. Las cajas, una vez inoculadas, se incubaron a 28 °C durante tres a siete días, la variación del tiempo fue por la diferente velocidad de crecimiento de las cepas. Posteriormente, las cepas se propagaron en caldo nutritivo en incubadora con agitación rotatoria (New Brunswick Scientific Edison) a 250 rpm durante cuatro a siete días a 28 °C, hasta obtener una concentración de 10⁹ células mL⁻¹, de acuerdo con la escala de McFarland (McFarland, 1970).

Efecto de las Bacterias en la Germinación de Lechuga

Para evaluar la capacidad promotora de la germinación de las cepas bacterianas en semillas de lechuga, se estableció un experimento en laboratorio.

Cuadro 1. Origen de las cepas bacterianas promotoras de crecimiento utilizadas en el experimento.

Cepa	Clave de cepa	Origen
<i>Hafnia alvei</i>	(P-3, P-25, P-27) #	Rizosfera de <i>Cacia reticulata</i>
<i>Hafnia alvei</i>	S1-AS †	Rizosfera de maíz olotón
<i>Azospirillum brasilense</i>	T2P10 †	Tallo de caña de azúcar
<i>Azospirillum brasilense</i>	CP 167 †	Rizosfera de maíz olotón
<i>Azospirillum lipoferum</i>	AS-1 †	Mucigel de maíz olotón
<i>Azospirillum</i> sp.	AS-2 †	Mucigel de maíz olotón
<i>Azospirillum</i> sp.	S8-AS †	Rizosfera de maíz olotón
<i>Azospirillum</i> sp.	(CPMEX 187, CPMEX 195) †	Rizosfera de maíz
<i>Azospirillum</i> sp.	CPMEX196 †	Rizosfera de trigo
<i>Azospirillum</i> sp.	CPMEX192 †	Colección microbiana
<i>Beijerinckia indica</i>	S4-BE †, S5-BE †	Rizosfera de maíz olotón
<i>Beijerinckia indica</i>	R2P2B #	Raíz de caña de azúcar
<i>Beijerinckia</i> (probablemente)	R2B #	Raíz de caña de azúcar
No identificada	R1B #	Raíz de caña de azúcar
<i>Enterobacter agglomerans</i>	S4-AT †	Rizosfera de maíz olotón
<i>Enterobacter cloacae</i>	(S2-AS, S3-DER) †, S6-AS †	Rizosfera de maíz olotón
<i>Enterobacter cloacae</i>	PS-9 #	Mucigel de maíz olotón
<i>Klebsiella pneumoniae</i>	PS-3 †	Mucigel de maíz olotón
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	(5PS, 7PS, 11PS) #	Rizosfera de melón
<i>Pseudomonas cepacia</i>	(P-26, P-13) #	Rizosfera de <i>Cacia reticulata</i>
<i>Pseudomonas fluorescens</i>	S2-PS #	Rizosfera de maíz olotón

† fijador de N₂, † fijador de N₂ y antibiosis, † fijador de N₂, antibiosis y solubilizador de fosfato, † no fija nitrógeno, # no se han caracterizado.

En cajas Petri estériles, se colocó una capa de algodón, recubierta con papel filtro estéril y se humedeció con 5 mL de agua destilada estéril. En cada caja, se colocaron 10 semillas de lechuga, previamente desinfectadas con alcohol a 70%, se inoculó con 0.1 mL de la suspensión bacteriana por semilla. Las cajas se sellaron con Parafilm y se dejaron a temperatura ambiente. Simultáneamente, se instaló un testigo (sin inocular), al cual sólo se le agregó agua destilada estéril, cada tratamiento tuvo tres repeticiones, lo que dio un total de 93 unidades experimentales. El experimento se estableció en un diseño experimental completamente al azar. Todas las actividades se desarrollaron en la campana de flujo laminar, en condiciones de asepsia. Se realizaron observaciones diarias, sin destapar las cajas, y se registró el número de semillas germinadas, hasta 20 días después de la siembra (dds).

Efecto de las Bacterias en el Crecimiento de Lechuga

El suelo utilizado fue de uso agrícola, procedió de Atenco, estado de México y presentó las siguientes características físicas y químicas: textura franca;

pH 7.4, ligeramente alcalino (Moreno, 1978); conductividad eléctrica (CE) 0.16 dS m⁻¹, salinidad nula (Richards, 1990); materia orgánica (MO) 1.5%, medianamente pobre (Moreno, 1978); N 0.07%, medianamente pobre (Moreno, 1978); P 9 mg kg⁻¹, mediano (Moreno, 1978); y K 2.06 cmol(+) kg⁻¹, alto (Etchevers *et al.*, 1971). Dicho sustrato se tamizó y esterilizó en autoclave a 124.2 x 10³ Pa durante 3 h. Se llenaron vasos de unicel con 1 kg de este suelo esterilizado.

Las semillas de lechuga se desinfectaron con alcohol (70%) y se lavaron con agua destilada estéril. Se sembraron cuatro semillas en cada vaso y se regó con agua destilada estéril. Los vasos estuvieron cubiertos con papel manila hasta la emergencia. Después de la emergencia [10 días después de la siembra (dds)], se dejó una plántula por maceta. Cada plántula se inoculó con 5 mL de la suspensión bacteriana (2 x 10⁹ células mL⁻¹). Por último, en cada vaso, la superficie del suelo se cubrió con tezontle estéril y se regó cada tres días a capacidad de campo, para mantener buenas condiciones de humedad durante 60 dds, que fue la duración del experimento.

El experimento se estableció en invernadero y se utilizó un diseño experimental completamente

aleatorio. Las 30 cepas de bacterias más un testigo (sin inocular), por quintuplicado, dieron en total de 155 unidades experimentales. Los datos se analizaron con el paquete estadístico Statistical Analysis System para microcomputadoras (SAS Institute, 1988). Se realizaron análisis de varianza y comparación de medias de tratamientos con la prueba de Tukey ($\alpha = 0.05$) y un análisis de correlación de las variables. **Variables evaluadas.** Las plantas de lechuga se cosecharon 60 dds. Las hojas se separaron del tallo para medir el área foliar con un integrador de área, modelo LI-2000 marca LI-COR. Para medir el volumen radical, primero se lavaron las raíces para quitarle las partículas de suelo adheridas y se introdujeron en una probeta de 10 mL que contenía una cantidad conocida de agua, el volumen desplazado fue el volumen de raíz, expresado en cm^3 .

La materia fresca y seca de la parte aérea y la raíz, se pesó por separado en una balanza de precisión. Para medir la materia seca, las plantas se secaron en horno con circulación de aire a 70 °C por 72 h, hasta alcanzar peso constante. Las muestras secadas (parte aérea) se molieron para después determinar el N y P con el método de microkjeldahl y del vanadato-molibdato amarillo, respectivamente (Alcántar y Sandoval, 1999).

La población total de las bacterias en el rizoplasma se evaluó siguiendo la técnica de dilución y conteo en placa (Wollum, 1982). Para esto, se tomaron 10 g de raíz libre de suelo, se colocaron en botellas de dilución que contenían 90 mL de agua destilada estéril y se agitaron vigorosamente por 10 min. De esa dilución se tomó 1.0 mL y se adicionó a un tubo que contenía 9.0 mL de agua destilada estéril (10^{-1}), nuevamente se agitó por unos segundos y se repitió el proceso hasta que se obtuvieron diluciones 10^{-2} , 10^{-3} , 10^{-4} , 10^{-5} , 10^{-6} y 10^{-7} . De las tres últimas, se tomó 0.1 mL y se dispersó uniformemente en los medios de cultivo agar nutritivo, por triplicado. Los medios así inoculados, se incubaron a 28 °C durante 72 h, para posteriormente cuantificar el número de unidades formadoras de colonias (UFC).

RESULTADOS Y DISCUSION

Efecto de las Bacterias en la Germinación de Semillas de Lechuga

De las cepas inoculadas, 76.6% incrementaron la germinación, 10% no tuvieron efecto y 13.3% la redujeron (Cuadro 2). Las cepas que mostraron efectos

benéficos en la germinación fueron la P-3 57.4% superior al testigo y las cepas P-27, T2P10, S4-BE y PS-3, 50.2% superiores al testigo (Cuadro 2). Al respecto, Chanway *et al.* (1989) evaluaron el efecto de la inoculación con nueve cepas de bacterias de los géneros *Pseudomonas* sp. y *Serratia* sp. en dos especies de leguminosas y encontraron efectos positivos significativos ($\alpha = 0.05$) en la germinación de lenteja (*Lens esculenta*) causados por la inoculación de las cepas, con incrementos de hasta 38.9% con la mejor cepa en comparación con el testigo (sin inocular); no así en el cultivo de chícharo (*Pisum sativum*), en el cual no detectaron efectos significativos; datos similares a los encontrados en el presente experimento.

Efecto de las Bacterias en el Crecimiento de la Parte Aérea de Lechuga

Todas las cepas de bacterias inoculadas (a excepción de la P-25) tuvieron influencia positiva en el desarrollo de las plantas, en comparación con el testigo sin inocular. Las cepas bacterianas que estimularon una mayor área foliar fueron: R1B, *P. fluorescens* S2PS, *Beijerinckia indica* (S5-BE y R2P2B) con un promedio que varió de 253.8 a 209.2 cm^2 contra 74.62 cm^2 de área foliar en el testigo (Cuadro 3).

Las cepas que estimularon mayor desarrollo de área foliar fueron las mismas que causaron el incremento más alto en el peso fresco de la planta, con valores de 7.0 a 10.26 g contra 2.7 g del testigo. El número de tratamientos que no mostraron diferencias significativas en comparación con el testigo para peso fresco fue mayor que el obtenido para la variable área foliar (Cuadro 3).

Los valores más altos obtenidos en la variable peso seco, correspondieron a las plantas inoculadas con las cepas R1B, *B. indica* R2P2B y S5-BE, *P. cepacia* P-26, *P. fluorescens* S2PS y *P. aeruginosa* 5PS cuyo peso seco fue de 0.38 a 0.66 g y estadísticamente diferente al testigo que tuvo un peso de 0.14 g. También hubo tratamientos que no presentaron diferencias estadísticas con el testigo (Cuadro 3).

Los efectos más sobresalientes de algunas cepas bacterianas sugieren que posiblemente existió un sinergismo entre el hospedante y los simbiontes, lo que permitió mejor absorción de elementos esenciales, como el N y el P encontrados en la planta (Cuadro 5), los cuales probablemente junto con las fitohormonas,

Cuadro 2. Efecto de la inoculación de 30 cepas bacterianas en la germinación de semillas de lechuga.

Tratamiento (Cepas)	Germinación [†] ----- % -----	Incremento con relación al testigo	Tratamiento (Cepas)	Germinación [†] ----- % -----	Incremento con relación al testigo
P-3	73.3 a	57.4	R2B	60.0 abcde	28.8
P-25	60.0 abcde	28.8	R1B	53.3 abcdef	14.4
P-27	70.0 ab	50.2	S4-AT	50.0 abcdef	7.3
S1-AS	56.7 abcdef	21.6	S2-AS	46.7 bcdef	0.1
T2P10	70.0 ab	50.2	S3-DER	56.7 abcdef	21.6
CP 167	53.3 abcdef	14.4	S6-AS	40.0 def	-14.2
AS-1	60.0 abcde	28.8	PS-9	63.3 abcd	35.9
AS-2	56.7 abcdef	21.6	PS-3	70.0 ab	50.2
S8-AS	70.0 abc	43.1	5PS	66.7 abc	43.1
CPMEX 187	53.3 abcdef	14.4	7PS	33.3 f	-28.5
CPMEX 192	36.7 ef	-22.3	11PS	33.3 f	-28.5
CPMEX 195	53.3 abcdef	14.4	P-13	46.7 bcdef	0.1
CPMEX 196	46.7 bcdef	0.1	P-26	43.3 cdef	-7.0
S4-BE	70.0 ab	50.2	S2-PS	63.3 abcd	35.9
S5-BE	63.3 abcd	35.9	Testigo	46.6 bcdef	
R2P2B	60.0 abcde	28.8			
			C.V.	32.1	

Medias con la misma letra dentro de la misma columna son estadísticamente iguales (Tukey, $\alpha = 0.05$). [†] Promedio de tres repeticiones (10 semillas en cada repetición). C.V. = coeficiente de variación.

que excretan las raíces tienen acción fisiológica, (Arshad y Frankenberger, 1991) provocaron el mayor desarrollo de la parte aérea del cultivo. Así lo reportan Dashti *et al.* (1997), quienes, al inocular *Serratia liquefaciens* 2-68 y *S. proteamaculans* 1-102, encontraron mayor número de hojas y área foliar en soya (*Glycine max*). En cambio, el bajo o nulo efecto de las otras cepas en el crecimiento del cultivo pudo deberse a que las cepas no encontraron el medio adecuado en la rizosfera, ya que, en general, para que los microorganismos puedan asociarse íntimamente con las raíces, tienen que escapar de los mecanismos de defensa de la planta y encontrar condiciones nutritivas y ambientales adecuadas para su crecimiento (Barea y Azcón-Aguilar, 1982).

Efecto de las Bacterias en el Crecimiento de la Raíz de Lechuga

Diez cepas bacterianas inoculadas en el cultivo de lechuga fueron estadísticamente diferentes al testigo ($\alpha = 0.05$) en el volumen radical, los tratamientos restantes fueron estadísticamente iguales al testigo, pero numéricamente superiores al mismo. Dentro de los tratamientos que indujeron mayor crecimiento radical, pueden resaltarse algunas cepas como R1B,

B. indica R2P2B y S5-BE con valores de 0.88, 0.68 y 0.60 cm³, respectivamente, contra 0.22 cm³ del testigo (Cuadro 4). En el caso del peso seco de raíz, 11 cepas fueron significativamente superiores ($\alpha = 0.05$) al testigo, sobresaliendo la R1B, *Enterobacter cloacae* S2-AS, *B. indica* R2P2B y *P. cepacia* P-26 con peso seco de 0.03 a 0.085 g contra 0.006 g del testigo (Cuadro 4).

El desarrollo de las raíces, favorecido por efecto de la inoculación de las bacterias, se manifestó directamente en mayor crecimiento de la parte aérea del cultivo; es importante destacar que las variables agronómicas evaluadas en la parte aérea y en la raíz del cultivo, registraron correlaciones altamente significativas ($\alpha = 0.05$). Estos resultados concuerdan con los reportados por Pereira *et al.* (1988) y Kloepper *et al.* (1991), quienes mencionaron que las bacterias promotoras de crecimiento como *P. fluorescens*, se caracterizan por incrementar el desarrollo radical, lo que repercute directamente en el rendimiento del cultivo.

Algunas cepas no mostraron efectos benéficos en el desarrollo de las raíces, como es el caso de *Hafnia alvei* P-25 que indujo un volumen radical de 0.16 cm³ y un peso seco de raíz de 0.008 g contra 0.22 cm³ y 0.007 g del testigo. El escaso desarrollo del sistema

Cuadro 3. Area foliar, peso fresco y peso seco de la parte aérea de plantas de lechuga, inoculadas con 30 cepas bacterianas, 60 días después de la siembra.

Tratamiento (Cepas)	Area foliar cm ²	Peso fresco g	Peso seco
P-3	125.02 po	4.34 jklmn	0.20 jklmno
P-25	72.46 v	2.52 q	0.12 o
P-27	140.24 mn	5.00 hijkl	0.27 defghijkl
S1-AS	165.28 ijk	4.64 jklm	0.23 hijklmn
T2P10	184.78 de	7.32 c	0.36 bed
CP 167	160.87 kl	6.34 cdef	0.35 bcdef
AS-1	179.33 ef	6.42 cde	0.34 bcdefg
AS-2	86.17 u	3.44 nopq	0.17 lmno
S8-AS	161.79 jkl	5.36 fghij	0.27 defghijkl
CPMEX 187	186.49 d	6.44 cde	0.29 bcdefghij
CPMEX 192	146.17 m	6.00 efgh	0.32 bcdefgh
CPMEX 195	93.46 t	3.18 opq	0.16 mno
CPMEX 196	135.80 n	4.22 klmn	0.24 fghijklmn
S4-BE	155.64 l	5.30 ghij	0.29 bcdefghij
S5-BE	213.45 c	7.04 cd	0.38 bc
R2P2B	209.21 c	8.80 b	0.40 b
R2B	128.01 o	4.08 lmno	0.21 ijklmno
R1B	253.82 a	10.26 a	0.66 a
S4-AT	119.77 pq	4.96 ijkl	0.25 efghijklm
S2-AS	127.20 o	4.22 klmn	0.24 ghijklmn
S3-DER	102.96 s	3.48 nopq	0.18 klmn
S6-AS	113.54 qr	3.68 mnop	0.17 lmno
PS-9	109.02 rs	3.60 nop	0.22 hijklmno
PS-3	167.83 hij	5.90 efghi	0.34 bcdefg
5PS	188.09 d	6.54 cde	0.38 bc
7PS	169.83 ghi	5.80 efghi	0.36 bcde
11PS	174.30 fgh	6.18 defg	0.31 bcdefghi
P-13	141.75 mn	5.18 ghijk	0.28 cdefghijk
P-26	175.72 fg	6.36 cdef	0.38 bc
S2-PS	225.86 b	7.20 cd	0.38 bc
Testigo	74.62 v	2.72 pq	0.14 no
C.V.	1.8	7.9	14.8

Medias con la misma letra dentro de la misma columna son estadísticamente iguales (Tukey, $\alpha = 0.05$). C.V. = coeficiente de variación.

radical, estadísticamente igual al testigo ($\alpha = 0.05$), es indicio de la posible especificidad de las cepas bacterianas.

Contenido de Nitrógeno y Fósforo en la Parte Aérea de la Planta de Lechuga

En el Cuadro 5 se observa que, de acuerdo con la clasificación del contenido de N en el follaje del cultivo (Jones *et al.*, 1991), las cepas inoculadas pueden

Cuadro 4. Volumen radical, peso fresco y peso seco de raíz de plantas de lechuga, inoculadas con 30 cepas bacterianas, 60 días después de la siembra.

Tratamiento	Volumen radical cm ³	Peso fresco g	Peso seco
P-3	0.20 gh	0.1640 fghi	0.018 bcdef
P-25	0.16 h	0.0640 hi	0.008 bcdef
P-27	0.34 cdefgh	0.3900 bcdef	0.016 cdef
S1-AS	0.36 cdefgh	0.2760 defghi	0.023 bcdef
T2P10	0.42 bcdefgh	0.2780 defghi	0.032 bcde
CP167	0.54 bcd	0.4980 bcde	0.030 bcdef
AS-1	0.50 bcde	0.3540 cdefg	0.031 bcdef
AS-2	0.20 gh	0.1620 fghi	0.020 bcdef
S8-AS	0.36 cdefgh	0.1980 fghi	0.023 bcdef
CPMEX187	0.48 bcdef	0.3220 cdefgh	0.022 bcdef
CPMEX192	0.52 bcde	0.3140 cdefgh	0.024 bcdef
CPMEX195	0.37 cdefgh	0.1940 fghi	0.024 bcdef
CPMEX196	0.46 bcdefg	0.1660 fghi	0.023 bcdef
S4-BE	0.54 bcd	0.3120 cdefgh	0.024 bcdef
S5-BE	0.60 bc	0.5500 bc	0.035 bed
R2P2B	0.68 ab	0.6380 ab	0.040 bc
R2B	0.38 cdefgh	0.3080 cdefghi	0.034 bed
R1B	0.88 a	0.8980 a	0.085 a
S4-AT	0.32 defgh	0.1520 fghi	0.021 bcdef
S2-AS	0.50 bcde	0.3760 cdef	0.042 b
S3-DER	0.26 efgh	0.1940 fghi	0.012 def
S6-AS	0.23 fgh	0.0940 ghi	0.011 def
PS-9	0.38 cdefgh	0.3180 cdefgh	0.028 bcdef
PS-3	0.34 cdefgh	0.2480 efghi	0.024 bcdef
5PS	0.46 bcdefg	0.4800 bcde	0.034 bed
7PS	0.36 cdefgh	0.3280 cdefg	0.033 bcde
11PS	0.42 bcdefgh	0.3280 cdefg	0.030 bcdef
P-13	0.44 bcdefg	0.2962 cdefghi	0.034 bed
P-26	0.54 bcd	0.5260 bcd	0.039 bc
S2-PS	0.36 cdefgh	0.2660 defghi	0.038 bc
Testigo	0.22 fgh	0.0500 i	0.007 f
C.V.	26.1	33.9	36.7

Medias con la misma letra dentro de la misma columna son estadísticamente iguales (Tukey, $\alpha = 0.05$).

agruparse en tres grupos: a) las que registraron valores mayores que 4.5% , considerados como altos; b) las que registraron valores de 3.5 a 4.5%, considerados como óptimos o suficientes; y c) las que generaron valores de 3.00 a 3.49%, que son bajos. De acuerdo con lo anterior, los dos primeros grupos son representados por 96.6% del total de las cepas inoculadas; dentro del primer grupo, las cepas más sobresalientes, por su efecto en la absorción de N, fueron *H. alvei* P-25 y S1-AS, *Azospirillum* sp. AS-2

Cuadro 5. Concentración de nitrógeno y fósforo en plantas de lechuga inoculadas con cepas bacterianas, 60 días después de la siembra.

Tratamiento (cepas)	Nitrógeno	Fósforo	Tratamiento (cepas)	Nitrógeno	Fósforo
	----- % -----			----- % -----	
P-3	3.81	0.30	R2B	4.09	0.25
P-25	4.96	0.37	R1B	4.09	0.20
P-27	3.53	0.27	S4-AT	4.81	0.32
S1-AS	4.91	0.31	S2-AS	3.88	0.24
T2P10	4.44	0.29	S3-DER	4.23	0.27
CP 167	4.46	0.22	S6-AS	4.68	0.35
AS-1	4.36	0.28	PS-9	3.75	0.23
AS-2	4.72	0.30	PS-3	3.94	0.29
S8-AS	4.46	0.31	5PS	3.60	0.25
CPMEX 187	4.51	0.33	7PS	3.75	0.25
CPMEX 192	4.48	0.26	11PS	4.24	0.30
CPMEX 195	3.79	0.27	P-13	4.19	0.27
CPMEX 196	3.91	0.26	P-26	4.01	0.26
S4-BE	3.10	0.27	S2-PS	3.70	0.31
S5-BE	4.12	0.28	Testigo	3.16	0.24
R2P2B	3.98	0.30			

y CPMEX 187, *E. agglomerans* S4-AT, *E. cloacae* S6-AS con valores de N total desde 4.5 hasta 4.91% contra 3.16% del testigo. La cepa *B. indica* S4-BE fue la única cepa bacteriana clasificada dentro del tercer grupo con sólo 3.1% de N total.

En cuanto a la concentración de P en el follaje, todos los tratamientos generaron valores de 0.25 a 0.44%, considerados bajos, según Jones *et al.* (1991). No obstante, se observan diferencias numéricas entre ellos, y las mejores cepas fueron *H. alvei* P-25, *E. cloacae* S6-AS y *Azospirillum* sp. CPMEX 187 con contenido de P de 0.33 a 0.37% contra 0.24% del testigo (Cuadro 5). La correlación en la concentración de N y P fue significativa ($r = 0.5$), lo cual indica que la concentración de cualquiera de los dos nutrientes en la planta no puede estar abajo del nivel óptimo para el buen funcionamiento fisiológico de la planta. También se observó una correlación positiva ($r = 0.75$) entre el volumen radical y el área foliar, interpretando con ello que a mayor superficie de exploración existe un mejor abastecimiento de nutrientes a la planta.

Supervivencia de las Bacterias Inoculadas en Rizoplano

La población total de bacterias se evaluó sólo en los tratamientos que manifestaron efecto benéfico en el crecimiento de la planta de lechuga.

De acuerdo con la cantidad de inóculo (2×10^9) aplicado a cada planta, la población de bacterias

inoculadas disminuyó en el rizoplano hasta estabilizarse, se encontró 3.7×10^6 UFC g^{-1} de raíz para la cepa de *P. fluorescens* S2PS, 10×10^6 y 13.5×10^6 para la cepa *B. indica* R2P2B y S5BE, respectivamente, 31×10^6 para la cepa *Azospirillum brasilense* T2P10 y para una cepa no identificada R1B 4.1×10^6 . La disminución de la población de las bacterias inoculadas pudo estar relacionada con el cambio de medio de crecimiento, además de que las bacterias, en general, presentan dificultades para adaptarse y desplazarse a lo largo de la raíz (Barea y Azcón-Aguilar, 1982). Bashan (1986) y García *et al.* (1995) comentaron que las bacterias disminuyen rápidamente después de la inoculación, pero después de establecerse la asociación, la población microbiana se incrementó. Cabe mencionar, que el número de microorganismos recuperados fue mayor en comparación con otros trabajos que reportan de 4.60×10^3 UFC g^{-1} de suelo en la rizosfera (Alvarez *et al.*, 1996) y de 9.6×10^4 UFC g^{-1} de raíz en el rizoplano (Kloepper *et al.*, 1980). Dicha variación de las UFC g^{-1} de raíz puede deberse a los compuestos orgánicos que contienen los exudados de cada especie de plantas y a las diferencias existentes de una región a otra.

CONCLUSIONES

- De las 30 cepas bacterianas estudiadas, la mayoría tuvo efectos benéficos en el cultivo de lechuga; la cepa

de *Hafnia alvei* P-3 promovió el mayor porcentaje de germinación de semillas, mientras que la cepa RIB (aislada de raíz de caña) estimuló el mayor desarrollo de área foliar, peso fresco, peso seco y volumen radical del cultivo. Por otro lado, la cepa de *Azospirillum brasilense* (T2P10) y *Pseudomonas aeruginosa* (5PS) mostraron efectos promotores del crecimiento, tanto en la germinación, como en el desarrollo vegetativo del cultivo de lechuga.

- La mayoría de las plantas inoculadas con las cepas bacterianas estudiadas tuvieron concentraciones óptimas de nitrógeno, excepto aquéllas que fueron inoculadas con la cepa de *Beijerinckia indica* S4-BE que fueron bajas.

- El efecto benéfico de las cepas bacterianas no es específico del cultivo de donde se aislaron. Además, por las complejas interacciones en la rizosfera, deben realizarse estudios específicos de las cepas con el cultivo, para determinar el mecanismo de promoción de crecimiento.

LITERATURA CITADA

- Alcántar G., G. y M. Sandoval V. 1999. Manual de análisis químico de tejido vegetal. Publicación Especial 10. Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo. Chapingo, México.
- Alexander, M. 1981. Introducción a la microbiología del suelo. Traducción al español de J.J. Peña C. AGT. México, DF. México.
- Alvarez S., J.D., R. Ferrera-Cerrato, J.A. Santizo R. y C. Zebrowski. 1996. Establecimiento y actividad de *Rhizobium* y de *Azospirillum* introducidos en tepetate durante el primer año de roturación. *Agrociencia* 30: 177-185.
- Arshad, M. y W.T. Frankenberger Jr. 1991. Microbial production of plant hormones. *Plant Soil* 133: 1-8.
- Asea, P.E.A., R.M.N. Kucey y J.W.B. Stewart. 1988. Inorganic phosphate solubilization by two *Penicillium* species in solution culture. *Soil Biol. Biochem.* 20: 459-464.
- Barea, J.M. y C. Azcón-Aguilar. 1982. La rizosfera: interacciones microbio-planta. *An. Edaf. y Agrobiol.* XLI (7-8): 1517-1532.
- Bashan, Y. 1986. Enhancement of wheat root colonization and plant development by *Azospirillum brasilense* Cd, following temporary depression of rhizosphere microflora. *Appl. Environ. Microbiol.* 51: 1067-1071.
- Bashan, Y., G. Olguín, M.E. Puente, A. Carrillo, L. Alcaraz-Meléndez, A. López-Cortés y J.L. Ochoa. 1993. Critical evaluation of plant inoculation with beneficial from the genus *Azospirillum*. pp. 115-126. *In:* R. Ferrera-Cerrato y R. Quintero L. (eds.). *Agroecología, sostenibilidad y educación.* Centro de Edafología, Colegio de Postgraduados. Montecillo, México.
- Beringer, J.E. 1984. The significance of symbiotic nitrogen fixation in plant production. *Plant Sci.* 2: 269-286.
- Curl, E.A. y B. Truelove. 1986. *The rhizosphere.* Springer-Verlag. New York.
- Chanway, C.P. 1997. Inoculation of tree roots with plant growth-promoting soil bacteria: An emerging technology for reforestation. *For. Sci.* 43: 99-112.
- Chanway, C.P., R.K. Hynes y L.M. Nelson. 1989. Plant growth-promoting rhizobacteria: Effects on growth and nitrogen fixation of lentil (*Lens esculenta* Moench.) and pea (*Pisum sativum* L.). *Soil Biol. Biochem.* 21: 511-517.
- Dashti, N., F. Zhang, R. Hynes y D.L. Smith. 1997. Application of plant growth-promoting rhizobacteria to soybean (*Glycine max* (L.) Merr.) increases protein and dry matter yield under short-season conditions. *Plant Soil* 188: 33-41.
- De Freitas, J.R. y J.J. Gernida. 1992. Growth promotion of winter wheat by *Pseudomonas fluorescens* under growth chamber conditions. *Soil Biol. Biochem.* 24: 1127-1135.
- Etchevers B., J.D., W. Espinoza G. y E. Riquelme. 1971. Manual de fertilidad y fertilizantes. 2a ed. Universidad de Concepción, Facultad de Agronomía. Chillán, Chile.
- Ferrera-Cerrato, R. 1995. Efecto de rizosfera. pp. 36-52. *In:* R. Ferrera-Cerrato y J. Pérez M. (eds.). *Agromicrobiología. Elemento útil en la agricultura.* Colegio de Postgraduados. Montecillo, México.
- García G., M.M., J.M. Sánchez Y., J.J. Peña C. y P.E. Moreno Z. 1995. Respuesta del maíz (*Zea mays* L.) a la inoculación con bacterias fijadoras de nitrógeno. *Terra* 13: 71-80.
- Hegde, D.M y B.S. Dwivedi. 1994. Crop response to biofertilizers in irrigated areas. *Fert. News* 39: 9-26.
- Hoffland, E., P.A.H.M. Bakker y V.L.C. Loon. 1997. Multiple disease protection by rhizobacteria that induce systemic resistance-reply. *Phytopathol.* 87: 2, 138.
- Jones, J.B., B. Wolf y H.A. Mills. 1991. *Plant Analysis Handbook.* Micro-Macro Publishing. Athens, GA.
- Katyal, J.C., B. Venkateswarlu y S.K. Das. 1994. Biofertilizers for nutrient supplementation in dryland agriculture. Potentials and problems. *Fert. News* 39: 27-32.
- Kloepper, J.W., R.M. Zablotowicz, E.M. Tipping y R. Lifshitz. 1991. Plant growth promotion mediated by bacterial rhizosphere colonizer. pp. 315-326. *In:* D.L. Keister y P.B. Cregan (eds.). *The rhizosphere and plant growth.* Kluwer. Dordrecht, The Netherlands.
- Kloepper, J.W., M.N. Schroth y T.D. Miller. 1980. Effects of rhizosphere colonization by plant growth-promoting rhizobacteria on potato plant development and yield. *Phytopathol.* 70: 1078-1082.
- Lifshitz, R., J.W. Kloepper y M. Kozłowski. 1987. Growth promotion of canola (repeseed) seedlings by a strain of *Pseudomonas putida* under gnotobiotics conditions. *Can. J. Microbiol.* 3: 390-395.
- Lynch, J.M. 1990. *The rhizosphere.* John Wiley. New York.
- McFarland, J. 1970. The nephelometer: An instrument for estimating the number of bacteria in suspensions used for calculating the opsonic index and for vaccines. pp. 435-437. *In:* H.D. Campbell, S.J. Garvey, E.N. Cremer y H.D. Sussdorf (eds.). *Methods in immunology.* Benjamin. New York.

- Moreno D., R. 1978. Clasificación de pH del suelo, contenido de sales y nutrimentos asimilables. Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas-Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos. México, DF, México.
- Pereira, J.A.R., V.A. Cavalcante, J.I. Baldani y J. Dobereiner. 1988. Sorghum and rice inoculation with *Azospirillum* sp. y *Herbaspirillum seropedicae* in field. *Plant Soil* 110: 269-274.
- Peter, A.H.M.B., A.W. Barker, J.D. Marugg, P.J. Weisbeek y B. Schippers. 1987. Bioassay for studying the role of siderophores in potato growth stimulation by *Pseudomonas* spp. in short potato rotations. *Soil Biol. Biochem.* 19: 443-449.
- Richards, L.A. 1990. Diagnóstico y rehabilitación de suelos salinos y sódicos. 6a ed. Departamento de Agricultura de los E.U.A. Limusa. México, DF, México.
- Rodríguez M., M.N. 1995. Microorganismos libres fijadores de nitrógeno. pp. 105-126. *In*: R. Ferrera-Cerrato y J. Pérez M. (eds.). Agromicrobiología. Elemento útil en la agricultura. Colegio de Postgraduados. Montecillo, México.
- Salih, H.M., A.I. Yonka, A.M. Abdul-Rahem y B.H. Munam. 1989. Availability of phosphorous in calcareous soil treated with rock phosphate or superphosphate as affected by phosphate dissolving fungi. *Plant Soil* 120: 181-185.
- SAS Institute Inc. 1988. SAS User's Guide. Statistical Analysis Institute. Cary, NC.
- Schroth. M.N. y A.R. Weinhold. 1986. Root-colonizing bacteria and plant health. *HortSci.* 21: 1295-1298.
- Taller, G.J. y T. Wong. 1989. Cytokinins in *Azotobacter vinelandii* culture medium. *Appl. Environ. Microbiol.* 55: 266-267.
- Vlassack, K.L., V. Holm, L. Duchateau, J. Vanderleyden y R.D. Mot. 1992. Isolation and characterization of *Pseudomonas fluorescens* associated with the roots of rice, banana grown in Sri Lanka. *Plant Soil* 145: 51-63.
- Wollum II, A.G. 1982. Cultural methods for soil microorganisms. pp. 781-802. *In*: A.L. Page (ed.). *Methods of soil analysis.* Agronomy 9. Part 2. American Society of America. Madison, WI.
- Zhang, F., N. Dashti, H. Hynes y D.L. Smith. 1996. Plant growth promoting rhizobacteria and soybean (*Glicine max* L. Merr.) nodulation and nitrogen fixation at suboptimal root zone temperatures. *Ann. Bot.* 77: 453-459.

COLONIZACION MICORRIZICA ARBUSCULAR Y FERTILIZACION MINERAL DE GENOTIPOS DE MAIZ Y TRIGO CULTIVADOS EN UN ANDISOL

Arbuscular Mycorrhizal Colonization and Mineral Fertilization of Corn and Wheat Genotypes Cultivated in an Andisol

Noé Manuel Montaña Arias¹, Verónica Quiroz García¹ y Gerardo Cruz-Flores¹

RESUMEN

En este estudio se evaluó la colonización micorrizica arbuscular nativa de dos genotipos de maíz (Negro y V-23) y dos de trigo (Berros y San Cayetano) caracterizados como menos eficientes y más eficientes en el uso de nitrógeno y fósforo (N y P), respectivamente. Los genotipos se cultivaron en un Andisol en el ciclo primavera-verano de 1998, con cuatro dosis de fertilización nitrofosfatada (N+P), para evaluar el efecto de la interacción micorriza-fertilización mineral sobre la eficiencia de utilización en N y P. A partir del suministro del fertilizante y hasta la floración, se tomaron muestras de raíces en tres edades. Estas se tiñeron por el método de Phillips y Hayman (1970) y se determinó el porcentaje de longitud radical colonizada por el método de las intersecciones. Se encontró que los genotipos con baja eficiencia nutrimental, para ambas especies, presentaron mayor colonización de micorriza arbuscular, con 75% para el maíz y 71% para el trigo, mientras que este porcentaje fue significativamente menor en los genotipos más eficientes, 64% y 55% respectivamente. El porcentaje de colonización micorrizica disminuyó significativamente en ambas especies, con mayor suministro de N+P respondiendo a la aplicación de ellos; sin embargo, mientras que en maíz, el porcentaje de colonización disminuyó al aumentar la edad de la planta, (menor micorrización en la floración), en trigo la colonización micorrizica aumentó con la edad, por lo que posiblemente esta colonización puede estar relacionada con la ruta metabólica (C₃ o C₄). Los resultados encontrados muestran que la colonización por micorriza arbuscular, depende de la disponibilidad de

nutrimentos, principalmente del P, y que la tendencia a la colonización micorrizica puede considerarse como una opción para la selección de genotipos eficientes en condiciones de campo y con ello incidir en la reducción del uso de fertilizantes minerales.

Palabras clave: Agricultura sostenible, cereales, nutrición vegetal, suelos ácidos.

SUMMARY

In this study, the arbuscular mycorrhizal indigenous colonization of two genotypes of maize (Negro and V-23) and two genotypes of wheat (Berros and San Cayetano), characterized previously as less efficient and more efficient in nitrogen and phosphorus use (N and P), respectively, were evaluated. These genotypes were cultivated in an Andisol during the spring-summer cycle of 1998 and with four doses of nitrophosphated (N+P) fertilizer in order to achieve the mineral mycorrhizal-fertilization effect related to the N and P use efficiency of each genotype. Three root samples were collected from each treatment starting when the fertilizer was applied and finishing with the flowering stage of the plants. These samples were stained using the Phillips and Hayman (1970) method and the percentage of the arbuscular mycorrhizal colonization was determined using the intersection method. For both species we found that the genotypes with low nutrimental efficiency showed major arbuscular mycorrhizal colonization, with 75% for maize and 71% for wheat, while the percentage was significantly less for the most efficient genotypes with 64% and 55%, respectively. The colonization percentage diminished significantly in both species, when the supply of N+P was increased responding to the application of phosphorus; however, while in maize the colonization percentage diminished when the age of the plant increased, (less mycorrhization in the anthesis), in wheat the opposite was observed. The results suggest that the MA colonization is related to

¹ Facultad de Estudios Superiores Zaragoza, Universidad Nacional Autónoma de México. Batalla 5 de mayo 66, Col. Ejército de Oriente, 09230 México, DF. (biogecf@prodigy.net.mx y CUFG560428@ocelote.zaragoza.unam.mx)

nutrient availability, mainly phosphorus content and possibly with the metabolic route (C_3 or C_4). As a consequence these parameters should be considered as an alternative in the selection of efficient genotypes under field conditions and in the reduction in the use of mineral fertilizers.

Index words: Sustainable agriculture, cereals, plant nutrition, acid soils.

INTRODUCCION

Una causa importante que influye sobre el deterioro de los recursos naturales, es el cambio de uso del suelo, es decir, la transformación de ecosistemas naturales como los matorrales, la selva o el bosque de pino-encino a pastizales, a potreros o a terrenos de uso agrícola. De esta manera, en México, extensas áreas de suelo, que originalmente habían estado cubiertas por bosques o praderas, se transformaron en áreas en las que actualmente se cultivan cereales básicos para la alimentación, como maíz, trigo y avena. Este cambio de uso del suelo a través de los años ha propiciado un descenso significativo en la producción agrícola a grado tal que, el maíz por ejemplo, hoy se importa.

En México, un caso interesante son los suelos agrícolas del orden Andisol que se originan de afloramientos de cenizas volcánicas, en los que predominan complejos alófono-húmicos y que estuvieron cubiertos por bosques o praderas. Estos suelos tienen como principal factor limitante para el desarrollo de las plantas cultivadas, la acidez (pH ácido igual a 6.5 ó menor) que puede afectar la disponibilidad de nutrientes esenciales, como el P y el N, cuyas formas iónicas, solubilidad y capacidad de liberación a partir de las partículas del suelo o de la materia orgánica dependen del pH del mismo suelo. Esta condición edáfica, cuando es adversa, propicia un suelo con baja fertilidad (Hesterberg, 1993; Baligar *et al.*, 1997).

En suelos de baja fertilidad, las plantas cultivadas desarrollan estrategias de tolerancia y evasión que les permiten adaptarse a esta condición edáfica anómala, con base en su eficiencia en adquisición de nutrientes. Entre las estrategias se encuentran, por un lado, su eficiencia nutrimental, definida como la capacidad de una planta para producir la mayor cantidad de biomasa seca por unidad de nutriente suministrado y, por otro, la relación entre los hongos del suelo y las raíces de las plantas, que forman una

asociación simbiótica, llamada micorriza arbuscular (MA) (Azcón y Barea, 1980; Harley, 1989; Marschner, 1991, 1995; Barea, 1998; Portilla *et al.*, 1998) Esta asociación tiene una importancia en 92% de las plantas, incluidos los cereales, y consiste en: intensificar la obtención de nutrientes poco móviles, como el P; incrementar la biomasa aérea y radical; aumentar la cantidad de agua obtenida (Abbott y Robson, 1991; Sieverding, 1991; Jasper y Davy, 1993; Allen, 1995); modificar las interacciones competitivas y dar estructura a las comunidades vegetales (Gange *et al.*, 1993; Francis y Read, 1994), que favorecen el desarrollo y la producción de los cereales.

Esta problemática señala y exige un conocimiento profundo de las dosis de fertilizantes más convenientes para obtener un buen rendimiento en función de la eficiencia nutrimental de la especie o genotipo cultivada(o) y de la adquisición de nutrientes a partir de estrategias biológicas como la simbiosis con hongos micorrízicos arbusculares asociados a la adaptabilidad de los cereales, para aprovechar de forma eficiente los nutrientes suministrados en la fertilización, bajo el manejo sostenible del recurso suelo como punto de partida para disminuir y regular el uso de fertilizantes en la agricultura mediante la exploración y selección de genotipos eficientes y su relación con las alternativas biológicas.

Este trabajo tuvo como objetivo evaluar la colonización micorrízica arbuscular (MA) en dos genotipos de maíz y dos de trigo (caracterizados como más eficientes y menos eficientes en el uso de N y P en condiciones de invernadero), por hongos nativos y su relación con la eficiencia en el uso de N y P con cuatro dosis de fertilización mineral nitrofosfatada y cultivados en condiciones de campo en un Andisol durante un ciclo agrícola.

MATERIALES Y METODOS

Zona de Estudio

Este estudio se llevó a cabo en el ejido Mesas de Zacango del pueblo de San Ildefonso, municipio de San José de Villa de Allende, distrito de valle de Bravo en el estado de México. El ejido se ubica entre las coordenadas 19°21' N y 100°05' O, con una altitud promedio de 2450 m. En la zona se encuentran áreas agrícolas (con problemas de fertilidad por la acidez del suelo), forestales y pecuarias. El ejido

Mesas de Zacango se localiza dentro de la subprovincia fisiográfica de mil cumbres que es una región accidentada, con una gran diversidad de geofomas (lomeríos, mesetas, colinas redondeadas); con afloramientos de rocas triásicas y sedimentarias cálcicas del terciario y cuaternario.

Los suelos son Andisoles con acidez de moderada a fuerte (pH de 4.6 a 5.2), con una profundidad promedio de 35 cm aproximadamente, presentan un horizonte A mólico y son carentes de propiedades sálicas (CE 0.0862 dS m⁻¹). La acumulación de materia orgánica (MO) es alta en los primeros 15 cm (5.58%) con baja tasa de mineralización afectada por el pH ácido, moderada capacidad de intercambio catiónico (CIC) (15 cmol_c kg⁻¹) y las cantidades de P disponible (6.6 mg kg⁻¹) y de N total (0.62%) son consideradas como bajas en relación con las concentraciones establecidas para suelos fértiles.

El clima según Köppen, modificado por García (1978), corresponde a un clima templado subhúmedo con lluvias en verano (CW); los meses más fríos son diciembre, enero y febrero, en los que se registran fuertes heladas; las temperaturas mínimas oscilan de -3 a -5 °C mientras que las máximas alcanzan hasta 24 °C.

La vegetación, de acuerdo con Rzedowski (1994), corresponde a un bosque de pino-encino; son regiones donde predominan gramíneas, arbustos, herbáceas y árboles, pero que fueron transformadas en claros o zonas agrícolas en donde se cultivan hoy en día cereales básicos como triticale, avena, trigo y maíz, aunque el rendimiento de cosecha no es rentable económicamente.

Método

Se eligieron dos genotipos de maíz (*Zea mays* L.): Negro y V-23 y dos genotipos de trigo (*Triticum aestivum* L.): Berros y San Cayetano, previamente seleccionados en condiciones de invernadero como ineficientes y como eficientes en el uso de P y N, respectivamente. Estos genotipos se sembraron (en abril 1998, los de maíz y, en junio del mismo año, los de trigo) en un Andisol en condiciones de campo. Para ello, se diseñaron parcelas experimentales que, en el caso del maíz, constaron de ocho surcos de 8 m de longitud, con 1 m de separación entre cada unidad experimental para disminuir los efectos de borde. En el caso del trigo, las parcelas fueron de 6 m² (2 m x 3 m) con 1 m² central de parcela útil. Para ambas especies, se utilizó un arreglo factorial de los

tratamientos y un diseño experimental completamente al azar. El experimento consistió en aplicar a dos genotipos de cada especie cuatro tratamientos (P-N) con cuatro repeticiones, lo que dio un total de 32 parcelas o unidades experimentales para cada especie.

Los tratamientos en cada especie estuvieron en función de cuatro dosis de fertilización N (urea)-P (superfosfato triple); se aplicaron dos dosis. Para el maíz, el N fue de 60 a 120 kg ha⁻¹ y el P de 40 a 80 kg ha⁻¹ por lo que las combinaciones fueron: 1 (60-40), 2 (120-40), 3 (60-80) y 4 (120-80), en donde la dosis más alta se utilizó como testigo porque es la aplicada comúnmente en la región. El suministro de estas dosis se realizó en dos aplicaciones (50% c/u) a 52 días de emergencia y en el momento de la escarda. Para el caso de los genotipos de trigo, la dosis baja que se consideró como testigo fue 0-0 kg ha⁻¹ de N-P y una dosis alta de 90-80 kg ha⁻¹ de N-P, a partir de las cuales se obtuvieron las combinaciones N-P 1 (0-0), 2 (90-0), 3 (0-80) y 4 (90-80); en este caso, se aplicaron todas en el momento de la siembra.

El muestreo de raíces para evaluar la colonización micorrizica se realizó al azar dentro del área útil de cada parcela y en cada repetición y con tres épocas de muestreo para cada especie. En los genotipos de maíz, el primero fue a 52 días de emergencia (sin dosis de fertilización), el segundo a 98 días (después de la aplicación del fertilizante, antes de la floración) y el tercero a 180 días después de la floración (formación de la inflorescencia "jiloteo"). Para el caso del trigo, la toma de muestras de raíces se hizo a 30, 60 y 90 días posteriores a la emergencia. Las raíces se fijaron en alcohol a 40% y se tiñeron por el método de Phillips y Hayman (1970), modificado por Manske (Portilla *et al.*, 1998), y se procesaron por el método de las intersecciones propuesto por Tennant (1976) (véase Giovannetti y Mosse, 1980 y Ferrera-Cerrato *et al.*, 1993).

Con la finalidad de evaluar la acumulación de P y N en planta, en el momento de la floración, en cada especie se tomaron muestras foliares al azar por cada tratamiento, se colectaron las hojas opuestas a la inflorescencia (jilote) en los genotipos de maíz y las hojas banderilla o inmediatas anteriores a la espiga en el caso del trigo. En la cuantificación de P y N, se siguió el método de vanadato-molibdato y semimicrokjeldahl, respectivamente. Se relacionó la acumulación de N y P con la eficiencia de uso de estos nutrimentos y con su rendimiento (semilla) y producción total (biomasa seca más semilla).

El análisis de los datos se realizó con un ANDEVA para cada una de las variables, con un modelo de dos factores: genotipos y dosis de fertilización y una prueba de comparación múltiple (Tukey DHS, $P \leq 0.05$), con el paquete estadístico SAS (SAS Institute, 1985; Salgado, 1992).

RESULTADOS Y DISCUSION

Los resultados muestran que los genotipos menos eficientes en el uso de N y P, tanto de maíz como de trigo, presentaron un porcentaje de longitud radical colonizada (% LRC) por hongos micorrízico arbusculares (HMA) significativamente mayor respecto al genotipo más eficiente. El genotipo de maíz Negro (menos eficiente = Negro-), es el cultivado en la zona (criollo), lo que podría justificar que esta simbiosis se presente en una mayor proporción y el genotipo de trigo Berros (menos eficiente = Berros-), también criollo de la región, mostró mayor porcentaje de longitud radical colonizada por HMA, lo que explica que la colonización de las raíces por HMA responde, en ambas especies, a una menor eficiencia de los genotipos en el uso de nutrientes y no a compatibilidad de las especies con los HMA nativos (Cuadro 1).

En los genotipos de maíz el % LRC en tres tiempos de crecimiento de la planta (LRC1 = 52 días, LRC2 = 98 días (después de la aplicación total de fertilizante) y LRC3 = 180 días (en el momento de la floración) disminuye respecto al tiempo (Figura 1). La toma de muestras para determinar la LRC1 se hizo en el momento de la aplicación del fertilizante, por lo que no hay efecto del fertilizante y así el efecto de fertilización se refleja hasta la LRC2 y LRC3. En las dosis más altas de P, en las cuales hay un menor porcentaje de colonización por HMA, la diferencia

significativa se debe al incremento en edad de la planta y al efecto de incremento en la dosis de fertilizante.

Puede asumirse que la disminución en LRC3, en ambos genotipos de maíz, se debe a que éstos, en la fase de anthesis, sólo requieren traslocar los nutrientes ya absorbidos hacia la inflorescencia para utilizarlos en la formación de fruto y semilla, de tal manera que el porcentaje de colonización por HMA disminuye, ya que si bien la obtención de nutrientes, especialmente P, es una de las funciones de ésta, dicha función tiende a reducirse al suministrar a la planta el nutriente mineral mediante fertilización (Hayman, 1982; Abbott y Robson, 1991). Una mayor disponibilidad de nutrientes mineral para la planta implica una adquisición con un menor costo energético, sobre todo para el genotipo con mayor eficiencia en el uso de estos nutrientes, por lo que disminuye la simbiosis con los HMA que es una vía en la que se asume un mayor costo energético para la obtención de nutrientes pero ecológicamente más favorable (Figura 2).

Por otra parte, de manera contraria a lo observado en el maíz, en el comportamiento de los genotipos de trigo, el % LRC se incrementó conforme a la edad hasta un máximo detectado en el momento de la floración (Figura 1). Dicha tendencia no sorprende ya que estas especies tienen rutas metabólicas diferentes, es decir, mientras que el maíz es una planta C_4 , el trigo es una planta C_3 , por lo que el mecanismo de asimilación, acumulación y utilización de los nutrientes es diferente (Baligar *et al.*, 1997). En efecto, una característica relacionada con la acumulación de nutrientes es la diferencia de biomasa seca entre una planta de maíz y una de trigo; esta diferencia favorece en el maíz una mayor acumulación y un proceso de traslocación de nutrientes en la floración; sin embargo, en el trigo,

Cuadro 1. Valores promedio de rendimiento, producción, acumulación de N y P y porcentaje de longitud radical colonizada (% LRC) por micorrizas arbusculares (MA) en los genotipos de maíz y trigo.

Especie	Genotipo	Rendimiento (semilla)	Producción total (biomasa seca más semilla)	Acumulación		LRC por HMA %
				N	P	
		t ha ⁻¹		kg ha ⁻¹		
Maíz (<i>Zea mays</i> L.)	Negro (-) [†]	2.1 a	4.6 a	119.02 a	14.85 b	75 a
	V-23 (+)	3.0 a	6.4 a	152.83 a	17.45 b	64 b
Trigo (<i>Triticum aestivum</i>)	Berros (-)	0.7 b	3.0 b	6.69 b	4.90 a	71 a
	San Cayetano (+)	1.9 c	5.7 c	95.35 c	13.88 c	55 b

[†] - = menor eficiencia nutricional, + = mayor eficiencia nutricional.

Letras diferentes en columna indican diferencias estadísticas significativas Tukey (DHS) a $P \leq 0.05$.

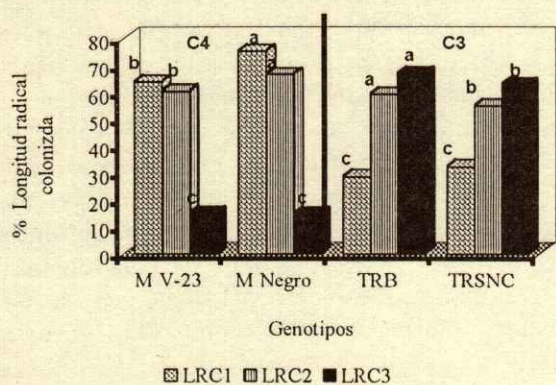


Figura 1. Longitud radical colonizada (% LRC) a diferentes edades (LRC1, LRC2 y LRC3) en los genotipos de maíz Negro-, maíz V-23+, trigo Berros (TRB)- y trigo San Cayetano (TRSNC)+.

- = menos eficiente, + = más eficiente.

Letras diferentes indican diferencias estadísticas significativas con prueba de Tukey (DSH), $P \leq 0.05$.

C3 y C4 representan la vía de asimilación o ruta metabólica de la especie.

la traslocación no es favorecida y la planta, aún en la etapa de floración, requiere de la absorción de nutrimentos.

El efecto de las dosis nitrofosfatadas (N+P), aplicadas a los genotipos, tanto de maíz como de trigo, sobre la LRC por MA no presentó diferencias significativas entre los genotipos más eficientes y los menos eficientes. Es decir, a pesar de que los genotipos tienen diferente capacidad de uso de N y P, el suministro de la dosis de fertilizante disminuyó la LRC con micorrizas arbusculares al aumentar la dosis de P.

El efecto de la fertilización nitrofosfatada sobre el % de LRC por especie, se evaluó en el maíz a 98 días (LRC2). El maíz mostró una ligera disminución en el % LRC que no fue significativa a dosis bajas de P ($P = 40 \text{ kg ha}^{-1}$) ni al variar la dosis de N (de 60 a 120 kg ha^{-1}), lo que sugiere que a menor dosis de P el % LRC por HMA no es afectado por incremento en suministro de N; mientras que a un mayor suministro en P ($P = 80 \text{ kg ha}^{-1}$) con variación de las mismas concentraciones en la dosis de N, se registró un marcado efecto sobre el % LRC2 y % LRC3, los cuales disminuyen significativamente con aumento de la edad de la planta y en el momento de la floración, de manera que: a mayor dosis de fertilizante, la funcionalidad de la micorriza se abate de 45 hasta 69 en el % de LRC con respecto a LRC1 (Figura 2). En

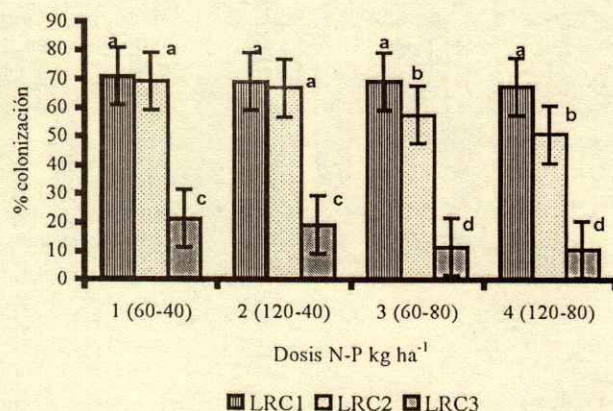


Figura 2. Efecto de la fertilización sobre el porcentaje de longitud colonizada (% LRC) por micorrizas arbusculares (MA) nativas en ambos genotipos de maíz. LRC1, LRC2 y LRC3: 52, 98 y 180 días de edad, respectivamente.

Letras diferentes indican diferencias estadísticas significativas con prueba de Tukey (DSH), $P \leq 0.05$.

el trigo, el efecto de la aplicación de la fertilización se evaluó a 30 días posteriores a la emergencia y se encontró el mayor % LRC (74%) en el tratamiento con presencia de N y ausencia de P ($90-0 \text{ kg ha}^{-1}$ de N+P), también se observó un aumento de LRC con la edad hasta el momento de la floración. La dosis que contiene ambos nutrimentos afecta ligeramente el % LRC, mientras que la dosis que sólo contiene P, disminuye significativamente el % LRC, lo que sugiere que en la presencia de P o a mayor concentración de éste, la funcionalidad de la micorriza se inhibe al igual que en el maíz. Sin embargo, el % LRC se incrementa (respecto al testigo $0-0 \text{ kg ha}^{-1}$ N+P) significativamente ante la presencia de N y ausencia de P, esto se asocia a que la aplicación o el suministro de N sin adicionar P acentúa en la planta la necesidad de adquirir el nutrimento no suministrado, por lo que el % LRC tiende a ser mayor. De acuerdo con lo anterior, se considera que la dosis adecuada a emplear, la que permitirá reducir el fertilizante aplicado y aprovechar la función biológica de las micorrizas sin reducir su función ecológica, es la que contiene una baja cantidad de N y no contiene P (dosis $0-0$ y $60-40$, Figuras 2 y 3). En producción y rendimiento, en los genotipos maíz V-23+ y trigo San Cayetano+ se obtuvieron los valores más altos respecto a los genotipos menos eficientes. En el caso del trigo, el genotipo San Cayetano+ presentó una mayor eficiencia en el uso de N+P al presentar una acumulación significativamente mayor de estos

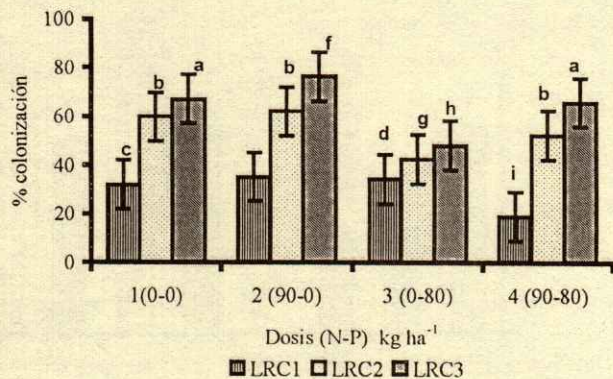


Figura 3. Efecto de la fertilización sobre el porcentaje de longitud radical colonizada (% LRC) por micorrizas arbusculares (MA) nativas en ambos genotipos de trigo. LRC1, LRC2 y LRC3: 30, 60 y 90 días de edad, respectivamente.

Letras diferentes indican diferencias estadísticas significativas con prueba de Tukey (DSH), $P \leq 0.05$.

nutrimentos. En el caso del maíz, no se encontraron diferencias significativas entre los genotipos en cuanto a rendimiento, producción y acumulación de N+P, a pesar de ser evidente la mayor producción de biomasa fresca (rastreo más mazorca) y grano que tuvo el genotipo V-23 (más eficiente) en comparación con el genotipo Negro-. La razón por la cual no fue posible detectar diferencias estadísticas respecto a dichos parámetros, es que el experimento se afectó por pérdida de plantas, debida a la sequía que se presentó en las primeras etapas del experimento y a las altas temperaturas (superiores a 40 °C). Sin embargo, a pesar de lo anterior, los datos de producción y rendimiento que se presentan sí son económicamente rentables para un productor de la región, por lo que estas variables se tomaron en cuenta y se relacionaron con el % LRC por HMA. Se encontró que la colonización por HMA, como mecanismo biológico para la adquisición de nutrimentos por la planta, tanto en maíz como en trigo, considerando sus diferentes rutas metabólicas de asimilación de nutrimentos, sólo es un proceso simbiótico complementario de la eficiencia nutrimental fisiológica de cada genotipo (Koide, 1991; Marschner, 1995).

En la acumulación de P y N en plantas de maíz por hectárea no fue posible detectar diferencias estadísticas entre los genotipos, pero la absorción de estos nutrimentos por planta sí mostraron diferencias significativas entre el genotipo más eficiente y el menos eficiente. En los genotipos de trigo se detectaron diferencias significativas, en donde el

genotipo menos eficiente Berros fue que acumuló menor cantidad de estos nutrimentos con respecto al más eficiente San Cayetano e incluso respecto a los de maíz, debido posiblemente la ruta metabólica que involucra una diferente forma de movilización y uso de nutrimentos por la planta y a la cantidad de biomasa involucrada (Cuadro 1). Es necesario indicar que, en ambas especies, los genotipos con menor porcentaje de acumulación de nutrimentos, presentaron el mayor porcentaje de colonización por MA, lo que ratifica una vez más que, a menor eficiencia nutrimental, la simbiosis micorrízica arbuscular juega un papel ecológico funcional importante en el mantenimiento de las plantas de maíz y trigo y en su evasión al estrés nutrimental por carencia de P.

CONCLUSIONES

Los genotipos menos eficientes, tanto de maíz como de trigo (maíz Negro y trigo Berros), presentaron el mayor porcentaje de LRC por MA, mientras los genotipos más eficientes (maíz V-23+ y trigo San Cayetano+) una menor LCR y, con ello, quizá, menor dependencia de las micorrizas arbusculares para obtención de los nutrimentos estudiados; sin embargo, estos últimos mostraron valores mayores de producción total (biomasa aérea más semilla), rendimiento (semilla) y acumulación de N y P, lo que implica una eficiencia fisiológica beneficiada y complementada por mecanismos biológicos como la simbiosis MA para la adquisición y absorción de nutrimentos.

Este estudio sugiere la hipótesis siguiente: "La fenología y el estado de desarrollo y crecimiento de las plantas hospedante (maíz y trigo), afectan la formación de las micorrizas arbusculares de acuerdo con la ruta metabólica de la planta". En este sentido, en plantas C_4 como el maíz, la colonización micorrízica arbuscular disminuye con la edad hasta la floración, de tal manera, que la aportación de nutrimentos de estas micorrizas también desciende. En cambio, en plantas de trigo que presentan una ruta metabólica C_3 , la simbiosis micorrízica arbuscular aumenta su presencia y, con ello, su contribución al suministro de nutrimento, con la edad de la planta, aún en la floración, para después disminuir. Esta hipótesis debe abordarse para diferentes especies de plantas y probarse en condiciones controladas y en relación con la cantidad de esporas presentes en el suelo, ya que de acuerdo con Giovannetti (1985), el

número de esporas puede aumentar conforme la planta madura o después de la floración, lo que ratificaría lo que se plantea respecto al comportamiento detectado en cada especie de este estudio.

El efecto del suministro de fertilización sobre el % LRC permite inferir que las dosis bajas en concentración de P son las que favorecen la simbiosis micorrizica arbuscular en ambas especies. Esto fundamenta la importancia y utilidad de las MA como un mecanismo biológico ideal para que las plantas de maíz o trigo aumenten la absorción de P presente en la solución del suelo ante la presencia o ausencia de N y P mineral, lo que permite minimizar las dosis de fertilizante aplicadas en la región.

La colonización por HMA, al estar en ambas especies directamente relacionadas con la captación de nutrimentos, principalmente P, puede ser considerada como una alternativa a explorar en la selección de genotipos eficientes de estas especies, de manera que la eficiencia nutrimental y el mecanismo biológico de la simbiosis de HMA en genotipos de diferente eficiencia nutrimental son alternativas que pueden contribuir con respuestas concretas, especialmente en suelos de baja fertilidad, a la crisis agrícola y alimentaria de México de manera sostenible.

AGRADECIMIENTOS

Los autores expresamos un fino agradecimiento a la familia Quintero (Don José Quintero y Doña Cande e Hijos), por su amable hospitalidad, préstamo de sus parcelas y ayuda en el trabajo de campo, ya que son ellos y todo campesino, los poseedores del mayor conocimiento en el proceso de producción rural.

Asimismo, agradecemos a las diferentes personas que enriquecieron esta investigación con sus ideas, opiniones críticas y ayuda técnica en el laboratorio y campo: Biól. Rubén Zulbarán, M. en C. Ma. de Jesús Sánchez, Biól. Issa Portilla, a los Biól. Alfredo Hernández, Josefina Aguilar, Erika Ortiz, Araceli Bautista, Genaro Montaña, Ayerim López y al estudiante Fernando Quiroz. La Doctora Lucía Varela Fregoso, la M. en C. Rosalva García y la Biól. Hilda Isela Medrano que revisaron cuidadosamente e hicieron valiosas críticas y aportaciones al borrador del artículo. Al Dr. Benny Weiss Steider agradecemos la traducción al inglés del resumen.

LITERATURA CITADA

- Abbott, L.K. y A.D. Robson. 1991. Factors influencing the occurrence of vesicular-arbuscular mycorrhizas. *Agric., Ecosystems and Environ.* 35: 124-150.
- Allen, B.E. 1995. Patterns and regulation of mycorrhizal plant and fungal diversity. *Plant Soil* 170: 447-462.
- Azcón-G., C. y J.M. Barea. 1980. Micorrizas. *Investigación y Ciencia* 47: 8-16.
- Baligar, V.C., G.V. Pitta, E.E. Gama, R.E. Schaffert y R.B. Clark. 1997. Soil acidity effects on nutrient use efficiency in exotic maize genotypes. *Plant Soil* 192: 9-13.
- Barea, J.M. 1998. Biología de la rizósfera. *Investigación y Ciencia* 256: 74-81.
- Ferrera-Cerrato, R., Ma. C. A. González y Ma. N. Rodríguez M. 1993. Manual de agromicrobiología. Trillas. México, DF.
- Francis, R. y D.J. Read. 1994. The contributions of mycorrhizal fungi to the determination of plant community structure. *Plant Soil* 159: 11-25.
- Gange, A.C., K.K. Brown y G.S. Sinclair. 1993. Vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi: A determinant of plant community structure in early succession. *Functional Ecol.* 7: 616-622.
- García, E. 1978. Modificaciones al sistema de clasificación climática Köppen. 2a ed. Instituto de Geografía. Universidad Nacional Autónoma de México. México.
- Giovannetti, M. 1985. Seasonal variations of vesicular-arbuscular mycorrhizas and *Endogonaceus* spores in a maritime sand dune. *Trans. Brit. Mycol. Soc.* 84: 679-684.
- Giovannetti, M. y B. Mosse. 1980. An evaluation of techniques for measuring vesicular arbuscular mycorrhizal infection in roots. *New Phytol.* 84: 489-500.
- Harley, J.L. 1989. The significance of mycorrhiza. *Mycol. Res.* 92: 129-139.
- Hayman, D.S. 1982. Influence of soils and fertility on activity and survival of vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi. *Phytopathology* 72: 1119-1125.
- Hesterberg, D. 1993. Effects of stopping on abandoned agricultural land. *Land Degradation & Rehabilitation* 4: 257-267.
- Jasper, A. y J.A. Davy. 1993. Root characteristics of native plant species in relation to the benefit of mycorrhizal colonization for phosphorus uptake. *Plant Soil* 155/156: 281-284.
- Koide, T.R. 1991. Nutrient supply, nutrient demand and plant response to infection mycorrhizal. *New Phytol.* 117: 365-386.
- Marschner, H. 1991. Mechanisms of adaptation of plants to acid soils. *Plant Soil* 134: 1-20.
- Marschner, H. 1995. Mineral nutrition of higher plants. 2nd ed. Academic Press. London, England.
- 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: 158-160.
- Portilla C., I., E. Molina G., G. Cruz-Flores, I. Ortiz-Monasterio y G.G.B. Manske. 1998. Colonización micorrizica arbuscular, actividad fosfatásica y longitud radical como respuesta a estrés de fósforo en trigo y triticale cultivados en un Andisol. *Terra* 16: 55-61.
- Rzedowski, J. 1994. Vegetación de México. Limusa. México, DF.

- Salgado, U.I.H. 1992. El análisis exploratorio de datos biológicos: Fundamentos y aplicaciones. Ediciones Marc. México. 1a. ed. FES Zaragoza Universidad Nacional Autónoma de México. México.
- SAS Institute, Inc. 1985. SAS/stat user's guide. release 6.03 SAS. NC.
- Sieverding, E. 1991. Vesicular-arbuscular mycorrhiza management in tropical agrosystems. Technical Cooperation Eschborn. Federal Republic of Germany. 17-69.
- Tennant, D. 1976. A test of a modified line intersect method of estimating root length. J. Ecology 63: 995-1001.

ACCUMULATION OF COUMESTROL, DAIDZEIN, AND GENISTEIN IS NOT RELATED TO SOYBEAN CROWN NODULE SENESCENCE

Acumulación de Coumestrol, Daidzeína y Genisteína no está Relacionada con la Senescencia de los Nódulos de la Corona de la Soya

David Espinosa-Victoria¹ and Peter H. Graham²

SUMMARY

Greenhouse experiments were performed to determine if coumestrol, daidzein, and genistein accumulation was related to soybean crown nodule senescence. Soybean cultivars exhibiting delayed ('Hardin' and 'Hodgson-78') and early ('Chippewa' and 'Alpha') decrease in nitrogenase activity, as well as the natural hypernodulating genotype 'Nod 1-3' were used in the present study. Plastic pots containing a sterile 1:1 mixture of silica sand and Sunshine mix # 2 sterilized by autoclaving 90 min at 121 °C were used as experimental units. Before direct soaking, all pots were watered with *Bradyrhizobium japonicum* strain UMR 161, providing an initial population of 10⁵ cells g⁻¹ of mixture. Sufficient experimental units (three replicates cultivar⁻¹ harvest⁻¹) were set up to allow weekly destructive sampling. We emphasized on crown nodules because they are basically induced by inoculant rhizobia and they are uniform in terms of age. 'Hardin' and 'Hodgson-78' induced more nodules at crown-root zone than 'Chippewa' and 'Alpha'. Significant differences in fresh weight of nodules between both soybean groups as early as 17 days after emergence (DAE) were observed. Crown nodule mRNA showed a more intense hybridization with PAL (phenylalanine ammonia lyase) rather than CHS (chalcone synthase) probe. PAL and CHS transcript levels were higher in 'Chippewa', 'Alpha' and 'Nod 1-3' than in 'Hardin' and 'Hodgson-78' nodules throughout the experiment. Levels of daidzein were higher than coumestrol or genistein in all five cultivars during the lifespan of the symbiosis. In all

cases, isoflavonoid levels peaked 38 to 45 DAE, with levels of coumestrol and daidzein in 'Hardin' and 'Hodgson-78' statistically higher than in 'Alpha' and 'Chippewa'. There were no consistent differences in accumulation of genistein. We did not find any relation between the accumulation of the three tested isoflavonoids and the onset of nodule senescence (decrease of nitrogenase activity). We assumed that the three tested isoflavonoids would lack antibiotic activity since their high accumulation levels did not affect the bacteroid nitrogenase activity.

Index words: Isoflavonoids, PAL (phenylalanine ammonia lyase), CHS (chalcone synthase).

RESUMEN

Se realizaron diferentes experimentos en invernadero para determinar la posible relación entre la acumulación de coumestrol, daidzeína y genisteína y la senescencia de los nódulos formados en la corona de la raíz de la soya. Se emplearon variedades de soya con reducción temprana ('Chippewa' y 'Alpha') y tardía ('Hardin' y 'Hodgson-78') de la actividad nitrogenasa, así como el mutante natural supernodulante 'Nod 1-3'. Como unidades experimentales se emplearon macetas de plástico conteniendo una mezcla 1:1 de arena de sílica con materia orgánica Sunshine mix # 2, esterilizada a 121 °C durante 90 min. Todas las macetas se inocularon mediante el riego con una población inicial de 10⁵ células de *Bradyrhizobium japonicum* UMR 161 g⁻¹ de mezcla antes de la siembra directa. Se instalaron tres repeticiones variedad⁻¹ cosecha⁻¹ para realizar muestreos destructivos semanales. Se hizo énfasis en los nódulos de la corona de la raíz debido a que éstos son básicamente formados por la bacteria inoculada y porque representan la población más uniforme en términos de edad. Las variedades 'Hardin' y 'Hodgson-78' indujeron más nódulos en la corona que 'Chippewa' y 'Alpha'. Se presentaron diferencias significativas en el peso fresco de nódulos entre los dos grupos de soya a los 17 días después de la

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

(despinos@colpos.colpos.mx)

Benemérita Universidad Autónoma de Puebla. Instituto de Ciencias. Edif. Complejo de Ciencias No. 76, 3er piso, Ciudad Universitaria. 72570 Puebla, Puebla.

²University of Minnesota, Department of Soil, Water, and Climate. Saint Paul, MN 55108.

Recibido: Enero de 2001. Aceptado: Agosto de 2001.

Publicado en Terra 19: 345-351.

emergencia (DDE). El ARNm nodular presentó mayor intensidad de hibridación con la sonda PAL (fenilalanina amonía liasa) que con la sonda CHS (chalcona sintasa). Los valores de transcritos de PAL y CHS fueron superiores en los nódulos 'Chippewa', 'Alpha' y 'Nod 1-3' que en los de 'Hardin' y 'Hodgson-78' durante el experimento. Los valores de daidzeína fueron mayores que los de coumestrol y genisteína en los cinco cultivares a través del tiempo que duró la simbiosis. En todos los casos, los isoflavonoides alcanzaron su máxima acumulación entre 38 y 45 DDE, y los valores de coumestrol y daidzeína fueron estadísticamente superiores en 'Hardin' y 'Hodgson-78' que en 'Alpha' y 'Chippewa'. No se detectó relación entre la acumulación de alguno de los tres isoflavonoides evaluados y el establecimiento de la senescencia nodular (disminución de la actividad nitrogenasa). Se asume que los tres isoflavonoides evaluados carecen de actividad antibiótica, ya que sus altas concentraciones no afectaron la actividad nitrogenasa de los bacterioides.

Palabras clave: *Isoflavonoides*, *PAL* (fenilalanina amonía liasa), *CHS* (chalcona sintasa).

INTRODUCTION

Symbiotic nitrogen (N_2) fixation by soybean (*Glycine max* (L.) Merrill) can decrease the need for expensive nitrogenous fertilization of this crop, as well as minimize environmental pollution. However, the contribution of biological nitrogen (N_2) fixation to N accumulation and yield by this crop can vary markedly. In Brazil where N fertilization of soybean is rare, biological N_2 fixation contributes the equivalent of 2.5×10^9 kg of N_2 yr⁻¹, and represents a saving of 1.8 billion US dollars (Dobereiner *et al.*, 1995). Less priority has been given to the improvement in the N_2 -fixing ability of soybeans in US agriculture (Vance, 1997). Some gains in N_2 fixation by this crop have been obtained (Coale *et al.*, 1985; Creagan and Yaklich, 1986), but mainly through the study of cultivar variation of seasonal differences in N accumulation under low N soil conditions (Neuhausen *et al.*, 1988; Sinclair *et al.*, 1991; Herridge *et al.*, 1994). We look for different traits that contribute to genetic variation for nodulation and nitrogen fixation. Recent papers have reported cultivar variation in early nodulation and

N_2 fixation (Pazdernik *et al.*, 1996), as well as differences in the onset of crown nodule senescence (Espinosa-Victoria *et al.*, 2000). Crown nodules in soybeans are predominantly formed by the inoculant strain, and they contribute essentially 100% of the N_2 fixed during early vegetative growth (McDermott and Graham, 1989). Senescence of soybean nodules has been directly associated with elevated proteolytic activity, decreased soluble protein content, including the disappearance of leghemoglobin (Malik *et al.*, 1981; Pfeiffer *et al.*, 1983a,b; Espinosa-Victoria *et al.*, 2000), and antibiotic effect of polyamines (Osawa and Tsuji, 1992, 1993). It has been demonstrated that senescence is associated with the accumulation of isoflavonoid glyceollin I. Espinosa-Victoria *et al.* (2000) suggested that measurement of glyceollin I levels in crown nodules at, or soon after, flowering could be a useful parameter for selecting cultivars which show delayed nodule senescence. However, it has not been evaluated if phenyl propanoid compounds different from glyceollin I are involved in the senescence of crown soybean nodules. Thus, the objectives of the present study were to: a) determine if the accumulation of isoflavonoids coumestrol, daidzein and genistein is associated with nodule senescence, and b) follow the expression of isoflavonoid-encoded multigenes PAL (phenylalanine ammonia-lyase) and CHS (chalcone synthase) in crown nodules of soybean cultivars exhibiting early and delayed senescence.

MATERIALS AND METHODS

Plant Growth and Inoculation

Plastic pots (16.25 x 15 cm) containing a 1:1 sterile mixture of silica sand and Sunshine-mix # 2 (J.R. Johnson, Roseville, MN), that had been sterilized by autoclaving 90 min at 121 °C, were used as experimental units. One day before planting, all pots were inoculated by watering with *Bradyrhizobium japonicum* strain UMR 161, grown in YEM broth (Graham, 1963) for eight days, providing an initial population of 10^5 cells g⁻¹ of mixture. Seeds of four soybean (*Glycine max* (L.) Merrill) cultivars ('Alpha', 'Chippewa', 'Hardin', and 'Hodgson-78') of Maturity Group I and the hypermodulating genotype 'Nod 1-3' (generously provided by Dr. J.E. Harper, USDA-ARS, University of Illinois) were surface sterilized using 95% (v/v) ethanol and 3% (v/v) sodium hypochlorite (Vincent, 1970), and rinsed repeatedly in sterile water.

Ten seeds were planted per pot and thinned to two seedlings per pot after emergence. Plants were grown in a greenhouse with a 16 h photoperiod and 26/21 °C day/night temperature, and watered alternately with sterile water and sterile low N plant nutrient solution (McDermott and Graham, 1990) as needed. Sufficient experimental units (three replicates cultivar⁻¹ harvest⁻¹) were prepared to allow weekly destructive sampling throughout nine weeks.

Crown Nodulation and Shoot Biomass

Plants were harvested every week beginning 10 days after emergence (DAE). At each harvest, the root system was cleaned, rinsed and nodules located at the first 4-cm segment of the taproot, including the first 1 to 4 cm of lateral roots arising from this segment, were picked and weighed. Shoots were dried at 70 °C for 72 h and then weighed. The experiment was analyzed as a two-factor (DAE and cultivars), randomized complete block design having three replicates, each of which consisted of two plants. Each replicate was grown separately in the greenhouse with an analysis of variance computed across DAE for all parameters using the General Linear Models (GLM) Procedure within SAS, version 6.03 (1992).

Expression of PAL and CHS Multigenes in Crown Nodules

A second experiment was performed in the greenhouse to study the expression of PAL and CHS multigenes in the crown nodules of cultivars 'Chippewa', 'Alpha', 'Hardin', 'Hodgson-78', and 'Nod 1-3' through the lifespan of the symbiosis. Nodules of plants harvested every week were picked and immediately frozen in liquid nitrogen. Nodules were ground in liquid nitrogen and 1 g of the powdered tissue was used to extract RNA (De Vries *et al.*, 1988). The dot blot technique was used for detecting the nodule expression of PAL and CHS genes. Samples of 8 µg of RNA were loaded on a nitrocellulose membrane ensemble in a BRL HybriII-Dot Manifold (No. 1050MM Life Technologies, Inc., Gaithersburg, MD), then the nitrocellulose was removed and baked for 2 h at 80 °C and prehybridized for 2 h at 42 °C. Positive and negative controls for hybridization were loaded on the nitrocellulose under the same conditions. Soybean-nodule specific cDNA probes for PAL and CHS (generously provided by Dr. Sengupta-Gopalan,

NM) were ³²P-labeled using a Prep-A-Gene Kit (Bio-Rad Laboratories, Hercules, CA), according to the manufacturers' recommendation. Hybridization was performed overnight at 42 °C, then nitrocellulose was exposed to x-ray film and incubated overnight at -40 °C. Finally, after developing, x-ray film was photographed.

Accumulation of Coumestrol, Daidzein, and Genistein in Crown Nodules

A third experiment, performed under the same greenhouse conditions, determined variation in coumestrol, daidzein, and genistein accumulation of taproot nodules of each soybean cultivar through the lifespan of the symbiosis. At each harvest date, nodules located at the 4-cm segment of the taproot, including the first 1 to 4 cm of lateral roots arising from this segment, were removed and immediately frozen in liquid nitrogen. Nodules were ground in liquid nitrogen, and 0.2 g of the fine powder was mixed with the 500 µL extraction buffer containing 5:1 acetonitrile: 0.1 N HCl. The extraction was performed at 4 °C overnight, then samples centrifuged and the supernatant dried in a speed vacuum at 40 °C. Samples were suspended in minimal amounts of HPLC-grade methanol then filtered through a 0.2 µm nylon acrodisc filter (Gelman Sciences, Ann Arbor, MI). Analytical HPLC separations were performed in a Hewlett Packard 1090 (Waldbronn, FRG) system equipped with a scanning UV (287 nm) detector and a Phenomenex Maxil 5 C1B (Torrance, CA) reverse-phase analytical column (4.6 x 250 mm). Isoflavonoids were identified by comparing their retention times with those of known standards (Sigma Chemical Co., St. Louis, MO) and the identification was confirmed by coinjections with known standards. This experiment was also analyzed as a two factor (DAE and cultivars), randomized complete block design having three replicates, each of which consisted of two plants. An analysis of variance computed across DAE for all three isoflavonoids using the GLM procedure within SAS, version 6.03 (1992) was performed.

RESULTS AND DISCUSSION

In a previous paper we reported genetic variation in terms of onset of crown nodule senescence in soybean cultivars within the Maturity Group I (Espinosa-Victoria *et al.*, 2000). Cultivars 'Hardin' and

'Hodgson-78' were fixing nitrogen one and two weeks after flowering, showing delayed decrease in nitrogenase activity 52 and 59 DAE, respectively. In contrast, cultivars Chippewa and Alpha with early onset of nodule senescence, exhibited a conspicuous decrease in nitrogenase activity as early as 38 and 45 DAE, respectively.

Our data on fresh weight of crown nodules (Table 1) show significant differences between both soybean groups as early as 17 DAE. 'Hardin' and 'Hodgson-78' formed more nodules at crown-root zone than 'Chippewa' and 'Alpha', with 'Hardin' showing the highest values.

In the same way, 'Hardin' and 'Hodgson-78' obtained the highest values in shoot dry weight, which were significantly different to 'Chippewa' and 'Alpha' (Table 2). We assume early crown nodulation triggered the increase in shoot biomass during vegetative stage, because at this time nodules located in this zone contribute essentially 100 % of the N₂ fixation activity (Kamicker and Bill, 1987; McDermott and Graham, 1989). Because secondary nodulation (nodule formation at lateral roots) significantly contribute to nitrogen fixation at, or soon after, flowering, we assumed that the amount of fixed nitrogen in 'Hardin' and 'Hodgson-78' must be higher because their crown nodules continue to fix nitrogen after the reproductive stage.

The hypernodulating genotype 'Nod 1-3', used as reference, exhibited the highest values for crown

nodulation. Because nodules formed by this strain practically do not fix nitrogen (Pazdernik *et al.*, 1996), there was no contribution of this element for increasing shoot biomass.

Crown nodule mRNA showed a more intense hybridization with PAL (Figure 1) rather than CHS (Figure 2) probe. PAL and CHS transcript levels were higher in 'Chippewa', 'Alpha', and 'Nod 1-3' than in 'Hardin' and 'Hodgson-78' nodules throughout the experiment.

The PAL transcripts level remained without change in 'Chippewa', 'Alpha' and 'Nod 1-3' nodules through the lifespan of the symbiosis. Instead, same transcripts exhibited a strong hybridization signal in 'Hardin' and 'Hodgson-78' 38 DAE, coinciding with their period of maximum nitrogenase activity (Espinosa-Victoria *et al.*, 2000). In contrast, the level of CHS transcripts was not consistent for 'Chippewa', 'Alpha' and 'Nod 1-3' crown nodules, showing fluctuations throughout the assay, with an intense hybridization for 'Alpha' nodules 38 DAE. Decrease of PAL and CHS transcripts occurred about 45 to 52 DAE in all cultivars.

Subsets of the PAL and CHS gene families specifically induced in soybean roots after infection with *B. japonicum* have been studied during early stages of the symbiosis (Sengupta-Gopalan *et al.*, 1990; Estabrook and Sengupta-Gopalan, 1991). Our data show that PAL and CHS transcripts are also

Table 1. Crown nodule fresh weight of soybean cultivars within the Maturity Group I at different harvesting dates.

Soybean cultivars	Days after emergence								
	10	17	24	31	38	45	52	59	66
	----- mg -----								
Alpha	140.00 b*	354.00 b	645.00 b	887.00 c	969.00 c	822.33 c	748.67 c	631.67 d	448.33 e
Chippewa	119.00 b	363.00 b	554.33 c	805.33 cd	997.00 bc	860.67 c	788.33 c	686.00 d	655.00 d
Hardin	119.00 b	334.67 bc	542.67 c	960.67 b	1045.00 b	1174.33 b	1235.33 b	1115.67 b	996.33 b
Hodgson-78	130.00 b	306.00 c	512.67 d	794.33 d	986.67 b	1081.67 b	1138.33 b	1036.00 c	892.00 c
Nod 1-3	185.00 a	410.00 a	710.33 a	1020.67 a	1370.44 a	1650.33 a	1545.44 a	1388.33 a	1200.44 a

*Means followed by the same letter within columns are not significantly different ($P \leq 0.05$) using T test (LSD).

Table 2. Shoot dry weight of soybean cultivars within the Maturity Group I at different harvesting dates.

Soybean cultivars	Days after emergence								
	10	17	24	31	38	45	52	59	66
	----- g -----								
Alpha	0.285 b*	0.560 c	1.125 c	2.107 c	3.930 b	5.638 c	6.087 c	8.273 b	10.156 b
Chippewa	0.313 a	0.495 d	0.915 d	1.920 d	3.123 c	4.787 d	5.826 d	8.574 b	10.114 b
Hardin	0.315 a	0.786 b	1.879 a	3.266 a	4.453 a	6.562 a	7.905 a	9.117 a	11.477 a
Hodgson-78	0.272 b	0.819 a	1.555 b	2.536 b	4.504 a	5.586 b	7.255 b	9.041 a	11.138 a
Nod 1-3	0.110 c	0.350 e	0.799 e	1.012 e	2.905 d	3.565 e	4.022 e	6.121 c	7.055 c

*Means followed by the same letter within columns are not significantly different ($P \leq 0.05$) using T test (LSD).

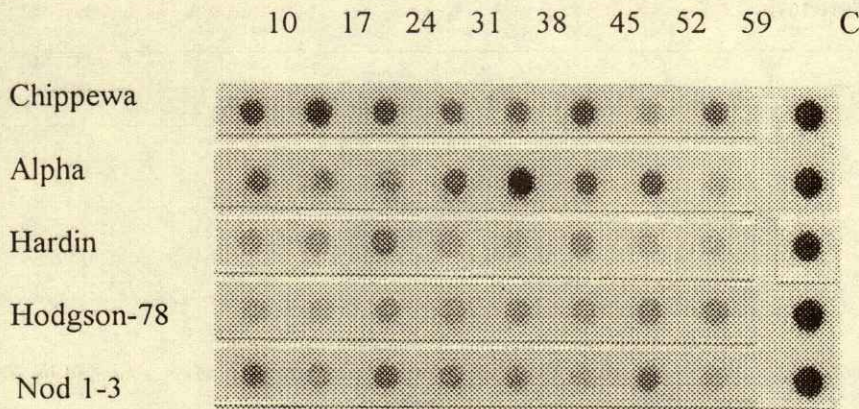


Figure 1. Expression of PAL (Phenylalanine ammonia lyase) multigene family in crown nodules induced by *Bradyrhizobium japonicum* strain UMR161 on five soybean cultivars at different days after emergence. Dot blots (8 µg of total nodule mRNA) were hybridized with soybean-nodule specific PAL probe. C = positive control.

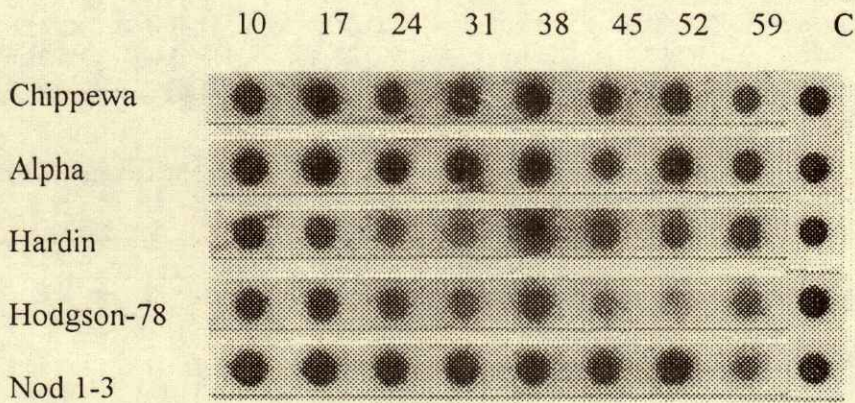


Figure 2. Expression of CHS (Chalcone synthase) multigene family in crown nodules induced by *Bradyrhizobium japonicum* strain UMR161 on five soybean cultivars at different days after emergence. Dot blots (8 µg of total nodule mRNA) were hybridized with soybean-nodule specific CHS probe. C = positive control.

expressed in soybean crown nodules at vegetative, reproductive and maturity stages.

Variation in levels of coumestrol, daidzein, and genistein in crown nodules of these cultivars are shown in Tables 3 to 5. Levels of daidzein were higher than coumestrol or genistein in all five cultivars during the lifespan of the symbiosis. In all cases, isoflavonoid levels peaked 38 to 45 DAE, with levels of coumestrol and daidzein in 'Hardin' and 'Hodgson-78' statistically higher than in 'Alpha' and 'Chippewa'. There were no consistent differences in accumulation of genistein.

It has been reported that the expression of PAL and CHS in hypernodulating genotype nodules tends to be higher (Estabrook and Sengupta-Gopalan, 1990).

We found a high expression of PAL and CHS multigenes in crown nodules of the hypernodulating 'Nod 1-3' genotype and it was related to high levels of coumestrol, daidzein, and genistein throughout the symbiosis.

The tested isoflavonoids reached their highest accumulation values near the flowering season (38 DAE). The pattern of coumestrol, daidzein, and genistein accumulation in 'Alpha', 'Chippewa', and 'Hodgson-78' nodules exhibited maximum values one and two weeks (38 and 45 DAE) after their nitrogenase peaks (Espinosa-Victoria *et al.*, 2000). In contrast, coumestrol and daidzein maximum accumulation in 'Hardin' occurred one week before (38 DAE) the nitrogenase peak. There was no

Table 3. Coumestrol accumulation in crown nodules of five cultivars of soybean (*Glycine max.* (L.) Merr.) formed by *Bradyrhizobium japonicum* strain UMR161.

Soybean line	Days after emergence							
	10	17	24	31	38	45	52	59
	----- µg/fgw -----							
Alpha	1.622 c*	17.82 d	18.26 d	218.48 d	576.57 d	607.60 c	163.13 c	109.49 c
Chippewa	14.389 b	18.02 d	17.89 d	33.06 e	528.92 e	519.77 e	164.43 c	151.24 b
Hardin	9.467 b	158.77 c	210.63 c	254.48 c	613.70 c	555.79 d	102.87 d	88.84 c
Hodgson-78	10.736 b	252.54 b	306.52 b	382.58 b	813.43 b	735.51 b	190.98 b	147.52 b
Nod 1-3	72.596 a	299.39 a	384.37 a	480.71 a	1075.64 a	886.05 a	358.77 a	272.29 a

*Means followed by the same letter within columns are not significantly different ($P \leq 0.05$) using T test (LSD).

Table 4. Daidzein accumulation in crown nodules of five cultivars of soybean (*Glycine max.* (L.) Merr.) formed by *Bradyrhizobium japonicum* strain UMR161.

Soybean line	Days after emergence							
	10	17	24	31	38	45	52	59
	----- µg/fgw -----							
Alpha	118.71 d*	113.93 e	154.61 c	187.37 e	476.14 d	556.22 d	202.42 c	133.97 c
Chippewa	155.63 c	167.97 d	187.13 c	250.92 d	626.67 c	753.63 c	251.60 c	230.58 b
Hardin	116.62 d	202.66 c	259.85 b	317.07 c	645.64 c	543.91 d	342.42 b	220.04 b
Hodgson-78	260.12 b	314.55 b	391.04 b	391.94 b	903.88 b	1117.63 b	317.28 b	249.25 b
Nod 1-3	307.62 a	382.38 a	441.76 a	591.68 a	993.51 a	1349.90 a	512.46 a	368.50 a

*Means followed by the same letter within columns are not significantly different ($P \leq 0.05$) using T test (LSD).

Table 5. Genistein accumulation in crown nodules of five cultivars of soybean (*Glycine max.* (L.) Merr.) formed by *Bradyrhizobium japonicum* strain UMR161.

Soybean line	Days after emergence							
	10	17	24	31	38	45	52	59
	----- µg/fgw -----							
Alpha	19.18 c*	39.78 d	73.08 c	91.11 d	315.99 c	408.13 b	138.50 b	82.18 c
Chippewa	24.30 b	64.02 b	122.02 a	142.64 c	251.29 e	356.52 d	139.18 b	132.75 b
Hardin	24.29 b	61.55 b	90.18 b	104.97 d	295.70 d	418.60 b	80.81 d	26.37 d
Hodgson-78	22.84 b	54.31 c	133.94 a	176.47 b	364.69 b	381.35 c	98.85 c	71.04 c
Nod1-3	45.42 a	83.80 a	104.62 b	294.99 a	440.71 a	894.00 a	358.76 a	204.37 a

*Means followed by the same letter within columns are not significantly different ($P \leq 0.05$) using T test (LSD).

difference in isoflavonoid accumulation between soybean cultivars exhibiting early and delayed crown nodule senescence. In a previous report (Espinosa-Victoria *et al.*, 2000) we showed no glyceollin I accumulation in crown nodules of soybean cultivars with late nodule senescence. In comparison, crown nodules of soybean cultivars exhibiting early nodule senescence accumulated high levels of this compound. In the present study, we did not find relation between the accumulation of any of the three tested isoflavonoids and the onset of the nodule senescence.

It has been reported that coumestrol, daidzein, and genistein are naturally accumulated in plant root tissues (Dewick, 1988); however, there is no information related to their nodule accumulation pattern and biological significance.

Due to its antibiotic activity, glyceollin I has been associated with *Bradyrhizobium* bacteroid viability (Werner *et al.*, 1985; Karr *et al.*, 1992). We hypothesized the three tested isoflavonoids lack this property, since their high accumulation did not affect the nitrogenase activity of any of the four soybean cultivars.

Further research must consider the evaluation of additional *Bradyrhizobium japonicum* strains and soybean cultivars belonging to different Maturity Groups, field performance of soybean cultivars differing in crown nodule senescence, and the impact of delayed crown nodule senescence on secondary nodulation.

REFERENCES

- Coale, F.J., J.J. Meisinger, and W.J. Wiebold. 1985. Effects of plant breeding and selection on yields and nitrogen fixation in soybean under two soil nitrogen regimens. *Plant Soil* 86: 357-367.
- Creagan, P.B. and R.W. Yaklich. 1986. Dry matter and nitrogen accumulation and partitioning in selected soybean genotypes of different derivation. *Theor. Appl. Genet.* 72: 782-786.
- De Vries, S., H. Hoge, and T. Bisseling. 1988. Isolation of total and polysomal RNA from plant tissues. pp. B6-13 *In*: S.B. Galvin and R.A. Schilperrot. *Plant molecular biology manual*. Kluwer. Dordrecht, Boston, London.
- Dewick, P.M. 1988. Isoflavonoids. pp. 125-209. *In*: The flavonoids: Advances in research since 1980. J.B. Harborne (ed.). Chapman and Hall. London, New York.
- Dobereiner, J., S. Urquiaga and M. Boddey. 1995. Alternatives for nitrogen nutrition of crop in tropical agriculture. *Fertil. Res.* 42: 339-346.
- Espinosa-Victoria, D., C.P. Vance, and P.H. Graham. 2000. Host variation in traits associated with crown nodule senescence in soybean. *Crop Sci.* 40: 103-109.
- Estabrook, E.M. and C. Senguta-Gopalan. 1990. Expression of genes encoding for phenylalanine ammonia lyase and chalcone synthase and their possible role during nodule development in soybean. pp. 735-739. *In*: Gresshoff, Roth, Stacey, and Newton (eds.). *Nitrogen fixation: Achievements and objectives*. Chapman and Hall. New York, London.
- Estabrook, E.M. and C. Senguta Gopalan. 1991. Differential expression of Phenylalanine ammonia-lyase and chalcone synthase during soybean nodule development. *Plant Cell* 3: 299-308.
- Graham, P.H. 1963. Antibiotic sensitivities of the root nodule bacteria. *Aust. J. Biol. Sci.* 16: 557-560.
- Herridge, D.F., O.P. Rupela, R. Serraj, and D.P. Beck. 1994. Screening techniques and improved biological nitrogen fixation in cool season food legumes. *Euphytica* 73: 95-108.
- Kamicker, B.J. and W.J. Brill. 1987. Methods to alter the recovery and nodule locations of *Bradyrhizobium japonicum* inoculant strain in the field-grow soybean. *Appl. Environ. Microbiol.* 53: 1737-1742.
- Karr, D.B., D.W. Emerich, and A.L. Karr. 1992. Accumulation of the phytoalexin, glyceollin, in root nodules of soybean formed by effective and ineffective strains of *Bradyrhizobium japonicum*. *J. Chem. Ecol.* 18: 997-1008.
- Malik, N.S.A., N.E. Pfeiffer, D.R. Williams, and F.D. Wagner. 1981. Peptidohydrolases of soybean root nodules. Identification, separation, and partial characterization of enzymes from bacteroid-free extracts. *Plant Physiol.* 68: 386-392.
- McDermott, T. and P.H. Graham. 1989. *Bradyrhizobium japonicum* inoculant mobility, nodule occupancy, and acetylene reduction in the soybean root systems. *Appl. Environ. Microbiol.* 55: 2493-2498.
- McDermott, T. and P.H. Graham. 1990. Competitive ability and efficiency in nodule formation strains of *Bradyrhizobium japonicum*. *Appl. Environ. Microbiol.* 56: 3035-3039.
- Neuhausen, S.L., P.H. Graham, and J.H. Orf. 1988. Genetic variation for dinitrogen fixation. *CRC Critical Rev. Plant Sci.* 6-3: 267-321.
- Osawa, T. and T. Tsuji. 1992. Inhibition of growth of *Bradyrhizobium japonicum* bacteroid by spermidine and spermine in yeast extract. *Soil Sci. Plant Nutr.* 38: 375-379.
- Osawa, T. and T. Tsuji. 1993. A possible role for polyamines in the repression of growth of *Bradyrhizobium japonicum* bacteroids in soybean nodules. *Plant Cell Physiol.* 34: 899-904.
- Pazdernik, D.L., P.H. Graham, C.P. Vance, and J.H. Orf. 1996. Host genetic variation in the early nodulation and dinitrogen fixation of soybean. *Crop Sci.* 36: 1102-1107.
- Pfeiffer, N.E., C.M. Torres, and F.W. Wagner. 1983a. Proteolytic activity in soybean root nodules. Activity in host cell cytosol and bacteroids throughout physiological development and senescence. *Plant Physiol.* 71: 797-802.
- Pfeiffer, N.E., N.S.A. Malik, and F.W. Wagner. 1983b. Reversible dark-induced senescence of soybean root nodules. *Plant Physiol.* 71: 393-399.
- Sengupta-Gopalan, C., E.M. Estabrook, H. Gambliel, W. Nirunsuksiri, and H. Richter. 1990. Regulation of host gene expression during nodule development in soybeans. pp. 701-707. *In*: Gresshoff, Roth, Stacey and Newton (eds.). *Nitrogen fixation: Achievements and objectives*. Chapman and Hall. New York, London.
- Sinclair, T.R., A.R. Soffes, K. Hinson, S.L. Albretch, and P.L. Pfahler. 1991. Genotypic variation in soybean nodule number and weight. *Crop Sci.* 31: 301-304.
- Vance, C.P. 1997. Legume symbiotic nitrogen fixation: Agronomic aspects. *CRC Critical Rev. Plant Sci.* 5-2: 120-131.
- Vincent, J.M. 1970. A manual for practical study of root-nodule bacteria. IBP Handbook 15. Blackwell. Oxford, England.
- Werner, D., R.B. Mellor, M.G. Hahn, and H. Grisebach. 1985. Soybean root response to symbiotic interactions with glyceollin I. Accumulation in an ineffective type of soybean nodules with an early loss of the peribacteroid membrane. *Z. Naturforsch.* 40c: 179-181.

PRODUCCION DE BIOFERTILIZANTES MEDIANTE BIODIGESTION DE EXCRETA LIQUIDA DE CERDO

Biodigestion of Hog Slurry to Produce Biomanure

Manuel de Jesús Soria Fregoso¹, Ronald Ferrera-Cerrato², Jorge Etchevers Barra², Gabriel Alcántar González², José Trinidad Santos², Lizette Borges Gómez¹ y Gaspar Pereyda Pérez¹

RESUMEN

Debido al incremento en el costo de los fertilizantes químicos y a la contaminación que algunos propician en el ambiente cuando se utilizan irracionalmente, es necesario encontrar nuevas alternativas de fertilización, económicas y más eficientes. Se considera como una alternativa viable la utilización de las fuentes orgánicas locales y regionales que tradicionalmente se han subutilizado, entre las que destacan las excretas líquidas de cerdo. En México, el estado de Yucatán ocupa el quinto lugar en la producción de cerdos; en 1997, se reportó una población de 1 114 135 cabezas (INEGI, 1997), que producen aproximadamente 3600 t de excretas diariamente que son arrojadas, en su mayoría, a las fosas o directamente al suelo propiciando serios problemas de contaminación. Con el objetivo de darle utilidad a las excretas líquidas y transformarlas de aguas contaminantes a biofertilizantes, se realizó el presente trabajo. Para ello se utilizó un biodigestor tipo FAO, el cual consta de caja de entrada, caja de salida y polietileno tubular calibre 800. Las dimensiones del tubular fueron de 1.25 m de diámetro y 12 m de largo con una válvula de salida del biogas y se construyó una pila de protección hecha de bloques, éste se cargó con excreta líquida, la cual contenía 1672 mg L⁻¹ de sólidos sedimentables (SSed), 9 x 10¹¹ UFC coliforme mL⁻¹ de muestra, pH de 7.6, conductividad eléctrica (CE) de 5.8 dS m⁻¹, demanda química de oxígeno (DQO) 2640.8 mg L⁻¹ y demanda bioquímica de oxígeno (DBO) 543 mg L⁻¹. El prototipo del digestor probado funcionó adecuadamente, ya que a cuatro días de ser llenado, empezó a aumentar el volumen hasta inflarse

totalmente de biogas (metano), lo anterior indicó que el proceso de digestión estaba funcionando al haber un incremento en temperatura hasta 56 °C en la etapa termofílica, el tiempo de maduración fue de 50 días, al término de éste la concentración del efluente fue de 210 mg L⁻¹ de SSed, 0 coliformes, pH de 7, 4 dS m⁻¹ de CE, 1399 mg L⁻¹ de DQO y 172 mg L⁻¹ de DBO.

Palabras clave: Biodigestor, contaminación, efluente.

SUMMARY

Increasing costs of chemical fertilizers and, when they are not properly used, pollution of underground water and environment make it necessary to find new, cheaper and more efficient alternatives of fertilization. Alternatives should not only provide nutrient requirements to the crops but also improve the physical, chemical and biological characteristics of the soil in a sustainable way. The use of local or regional organic sources, which are traditionally subutilized such as liquid hog excreta, is considered a viable alternative. In Mexico, the state of Yucatan occupies fifth place in hog production. In 1997, 1 114 135 hogs (INEGI) produced approximately 3600 t of manure, which was left mostly in lagoons and caverns, or directly on the soil, causing serious problems of pollution. This study was done to find a use for this liquid manure and transform it into biofertilizer. A FAO-type biodigestor was used; this consists of an entry box and exit box, and an 800-calibre polyethylene tube 1.25 m in diameter and 12 m long with an escape valve for biogas. A protection tank was constructed with cinder blocks and filled with hog slurry, which was previously analyzed: 1672 mg L⁻¹ of sedimentable solids (SSed), 9 x 10¹¹ colony forming units (CFU) m L⁻¹ of sample, pH 7.6, electric conductivity (EC) 5.8 dS m⁻¹, oxygen chemistry demand (OCD) 2640.8 mg L⁻¹, and oxygen biochemistry demand (OBD) 543 mg L⁻¹. The prototype of the biodigestor tested worked adequately after the fourth day of being charged. Volume began increasing because of biogas (methane) production.

¹Instituto Tecnológico Agropecuario No. 2. Conkal, Yucatán. km 16.3 Ant. Carr. Mérida-Motul. Tel. 01 991 241 30. Fax 01 991 241 35. (msoria@mucuy.itaconkal.edu.mx)

²Instituto de Recursos Naturales, Colegio de Postgraduados. 56230 Montecillo, Estado de México.

This indicated that the process of digestion was taking place when the temperature rose to 56 °C in the thermophylic stage. Time of maturation was 50 days; at the end of this period the effluent concentration was 210 mg L⁻¹ (SSed), zero coliform bacteria, pH 7, 4 dS m⁻¹ of EC, 1399 mg L⁻¹ OCD, and 172 mg L⁻¹ OBD.

Index words: Digester, contamination, effluents.

INTRODUCCION

Del total de granjas de cerdos, existentes en Yucatán, se calcula que sólo 15% tiene sistemas de tratamiento de excretas y éstas pertenecen a los megaproyectos, es decir, a los productores económicamente más fuertes. También existe gran cantidad de pequeños productores que no dan tratamiento alguno a las excretas y las arrojan a pequeñas fosas o incluso directamente a pozos o partes bajas de la granja propiciando serios problemas de contaminación por coliformes y nitratos en suelos y acuíferos (Vázquez y Manjarrez, 1993).

Las excretas contienen nutrimentos que los cultivos pueden utilizar, pero también poseen altas concentraciones de coliformes fecales que producen enfermedades infecciosas, capaces de causar hasta la muerte en los humanos. Por ello, para utilizarlas como fertilizantes, es necesario darles un tratamiento que elimine estos agentes infecciosos. Una forma de hacerlo es mediante la biodigestión. Al usar un biodigestor se utilizan los nutrimentos contenidos en las excretas y, además, se reduce la contaminación ambiental, ya que convierte las excretas que contienen microorganismos patógenos como bacterias, protozoos, larvas, huevos, pupas de insectos, etc., en residuos útiles y sin riesgo de transmisión de enfermedades (McCaskey, 1990).

En el estado de Yucatán, la actividad hortícola siempre ha dependido de la aplicación de estiércoles sólidos, esto se debe a que los suelos predominantes son extremadamente pedregosos, delgados y permeables que baja rápidamente la fertilidad original cuando se les utiliza en forma continua. La utilización de estiércoles es una forma de mantener la fertilidad del suelo, ya que se ha demostrado que en suelos pedregosos existe muy poca respuesta a la fertilización química, cuando ésta se hace en forma tradicional (Soria *et al.*, 1994), sólo cuando se dosifica en el agua de riego se han observado buenos resultados (Soria *et al.*, 2000). Sin embargo, cada día los estiércoles son más escasos y costosos por lo que

se considera necesario buscar fuentes alternativas de abonos orgánicos. Una opción viable consiste en utilizar la biomasa vegetal, que en el trópico es abundante, y las excretas líquidas de cerdo como activadores microbianos.

La digestión anaerobia es un proceso complejo desde el punto de vista microbiológico; al estar enmarcado en el ciclo anaerobio del carbono, es posible en ausencia de oxígeno, transformar la sustancia orgánica en biomasa y compuestos inorgánicos en su mayoría volátiles: CO₂, NH₃, H₂S, N₂ y CH₄ (Soube, 1994). Naturalmente ocurre en el tracto digestivo de animales y debajo de aguas estancadas o pantanos, pero también puede realizarse en depósitos cerrados herméticamente, llamados digestores. Estos se utilizan cuando se quiere captar todos los productos obtenidos de la descomposición anaerobia (gases y sólidos), ya que al haber en su interior un ambiente oscuro y sin aire se favorece el medio óptimo para el cultivo intensivo de bacterias anaerobias (Salazar, 1993).

En esta condición, cuando se acumulan polímeros naturales orgánicos como proteínas, carbohidratos, celulosa, etc., se produce un rápido consumo de oxígeno, del nitrato y del sulfato por los microorganismos, produciéndose la metanogénesis; en estas condiciones, el nitrato se transforma en amonio y el fósforo queda como fosfato. También se reducen los iones férrico y mangánico, debido a la ausencia de oxígeno.

El método básico consiste en alimentar al digestor con materiales orgánicos y agua, dejándolos un período de semanas o meses, a lo largo de los cuales, en condiciones ambientales y químicas favorables, el proceso bioquímico y la acción bacteriana se desarrollan simultánea y gradualmente, descomponiendo la materia orgánica hasta producir grandes burbujas que fuerzan su salida a la superficie donde se acumula el gas (Verástegui, 1980).

La digestión anaerobia, a partir de polímeros naturales y en ausencia de compuestos inorgánicos, se realiza en tres etapas: 1) hidrólisis y fermentación, en la que la materia orgánica es descompuesta por la acción de un grupo de bacterias hidrolíticas anaerobias que hidrolizan las moléculas solubles en agua, como grasas, proteínas y carbohidratos, y las transforman en monómeros y compuestos simples solubles; 2) acetogénesis y deshidrogenación, donde los alcoholes, ácidos grasos y compuestos aromáticos se degradan produciendo ácido acético, CO₂ e hidrógeno que son los sustratos de las bacterias

metanogénicas; 3) metanogénica en la que se produce metano a partir de CO₂ e hidrógeno, a partir de la actividad de bacterias metanogénicas (Marty, 1984).

La concentración de hidrógeno juega un papel fundamental en la regulación del flujo del carbono en la biodigestión. Los microorganismos que en forma secuencial intervienen en el proceso son: 1) bacterias hidrolíticas y fermentadoras; 2) bacterias acetogénicas obligadas reductoras de protones de hidrógeno (sintroficas); 3) bacterias sulfato reductoras (sintroficas facultativas) consumidoras de hidrógeno; 4) bacterias homoacetogénicas; 5) bacterias metanogénicas; 6) bacterias desnitrificantes (Soubes, 1994).

Para que las bacterias aseguren su ciclo biológico en el proceso de digestión anaerobia es necesario que se presenten en condiciones óptimas los siguientes factores:

Temperatura. Las bacterias mesófilas completan su ciclo biológico en el ámbito de 15 a 40 °C con una temperatura óptima de 35 °C. Las bacterias termofílicas cumplen sus funciones en el ámbito de 35 a 60 °C con una temperatura óptima de 55 °C.

Hermetismo. Para que el proceso de digestión se lleve a cabo en forma eficiente, el tanque de fermentación debe estar herméticamente cerrado.

Presión. La presión subatmosférica de 6 cm de agua dentro del biodigestor se considera la presión óptima (Kennedy y Berg, 1982).

Tiempo de retención. Es el tiempo promedio en que la materia orgánica es degradada por los microorganismos. Se ha observado que a un tiempo corto de retención se produce mayor cantidad de biogas, pero un residuo de baja calidad fertilizante por haber sido parcialmente digerido. Pero para tiempos largos de retención se obtendrá un rendimiento bajo de biogas, pero con un efluente (residuo) más degradado y con excelentes características como fuente de nutrimentos.

Relación C/N. La relación óptima de C/N es de 30:1, cuando la relación es muy estrecha (10:1) hay pérdidas de nitrógeno asimilable, lo cual reduce la calidad del material digerido. Si la relación es muy amplia (40:1) se inhibe el crecimiento debido a falta de nitrógeno.

Porcentaje de sólidos. El porcentaje óptimo de sólidos en la mezcla a digerir es de 7 a 9 y se consigue al diluir el material orgánico con agua.

pH. En digestores operados con estiércol de bovino, los valores óptimos de operación oscilan entre 6.7 y 7.5 con límites de 6.5 a 8.0 (Hayes *et al.*, 1979).

Agitación. Esta práctica es importante para establecer un mejor contacto de las bacterias con el sustrato.

Ventajas de los Biodigestores

- Se optimiza el material orgánico utilizado, ya que se captan todos los productos y subproductos (gases y líquidos con sólidos disueltos) generados en la degradación, por lo cual existe poca pérdida de elementos nutritivos, cosa que no sucede en la biodegradación aerobia.

- Los residuos orgánicos obtenidos después de la biodegradación anaerobia (efluente) tienen mayor riqueza nutricional que los obtenidos en la biodegradación aerobia (Noyola y Monroy, 1994).

Desventajas de los Biodigestores

- El material orgánico obtenido de este tipo de biodegradación es líquido.

- Al aplicarse en forma líquida en suelos permeables existe mucha pérdida por lixiviación de algunos de sus componentes.

- Es necesario tener el suelo húmedo para hacer la aplicación del efluente porque si el suelo está seco existe gran pérdida de nitrógeno del efluente por volatilización (Feigin *et al.*, 1991).

Tipos de Digestores

En forma general se clasifican, según su modo de operación, en los siguientes: de régimen estacionario o de Batch, de régimen semicontinuo, horizontales de desplazamiento y de régimen continuo.

Los de régimen estacionario son muy utilizados para obtener fertilizante orgánico y consisten de tanques herméticos con una salida de gas. Se cargan una sola vez y se descargan cuando han dejado de generar gas (CEMAT, 1977).

Los de régimen semicontinuo se construyen enterrados, se cargan por gravedad una vez al día, en la parte superior flota una campana donde se almacena el gas (Viñas, 1994).

Los horizontales de desplazamiento también se construyen enterrados semejantes a un canal, se operan a régimen semicontinuo, entrando la carga por

un extremo del biodigestor y saliendo el efluente por el extremo opuesto.

Los de régimen continuo se utilizan principalmente para tratamiento de aguas negras; son plantas muy grandes que emplean equipos para proporcionar calefacción y agitación, éstos generalmente son de tipo industrial (Mandujano, 1981).

La FAO propone un prototipo denominado: "Biodigestor plástico de flujo continuo, generador de gas y bioabono a partir de aguas residuales servidas", el cual es muy sencillo y económico. Las principales características de éste son: se hace con polietileno calibre 8 resistente a la luz ultravioleta (LUV), tiene capacidad para 9 m³ y el tiempo aproximado de retención para la digestión anaerobia de la materia orgánica diluida es de 30 a 40 días en zonas tropicales con temperaturas promedio de 30 °C (FAO, 1995).

Uso del Bioabono

Además de generar gas combustible, la fermentación anaerobia de la materia orgánica produce un residuo orgánico de excelentes propiedades fertilizantes, evitando en esta forma la competencia que se podría presentar con el aprovechamiento tradicional de los residuos animales y agrícolas con fines fertilizantes o como combustibles. La composición del bioabono en promedio tiene 8.5% de materia orgánica, 2.6% de nitrógeno, 1.5% de fósforo, 1.0% de potasio y un pH de 7.5 (Botero y Thomas, 1987).

El bioabono sólido o líquido no posee mal olor, a diferencia del estiércol fresco, tampoco atrae moscas y puede aplicarse directamente al campo en forma líquida, en las cantidades recomendadas (McCaskey, 1990); o bien, el bioabono sólido puede deshidratarse y almacenarse para usarlo posteriormente en el entendido de que al deshidratarse puede haber pérdidas por volatilización hasta 60%, sobre todo de nitrógeno (Day, 1987). De acuerdo con Mandujano (1981), un metro cúbico de bioabono producido y aplicado diariamente, puede fertilizar más de 2 ha de tierra por año y proporcionar hasta 200 kg N ha⁻¹ de los que estarán disponibles en el primer año entre 60 y 70 kg. El bioabono no deja residuos tóxicos en el suelo, eleva la calidad del mismo y puede considerarse como un buen fertilizante que puede competir o complementarse con los fertilizantes químicos.

Con el objeto de dar utilidad a la excreta líquida de cerdo, en la producción de biofertilizante y tratar de eliminar a los patógenos (coliformes principalmente) que la excreta contiene, se evaluó el proceso de biodigestión anaerobia.

MATERIALES Y METODOS

Para la descontaminación de la excreta, se utilizó el prototipo de biodigestor tipo FAO (1995) que fue de polietileno tubular y se construyó con las siguientes características: 9 m³ de capacidad, la fosa tuvo 10 m de longitud por 1.1 m de ancho arriba, 0.9 m de ancho en el fondo y una profundidad de 1 m. Las paredes longitudinales de la fosa quedaron con un talud de 10%. El desnivel a lo largo del piso fue de 0.05%, el biodigestor estaba provisto de una caja de entrada y otra de salida.

La caja de entrada se hizo de 1 m de largo, 1 m de ancho y 1 m de profundidad, se construyó con bloques de cemento y sus paredes interiores se cubrieron con acabado pulido de cemento, de manera que se impidan filtraciones de líquido al exterior. La caja quedó separada de la fosa del biodigestor por un muro de bloques de 20 cm de ancho.

La caja de salida era de 50 cm de largo por 50 cm de ancho y 75 cm de profundidad, del mismo material que el de la caja de entrada. Las cajas cumplen la función de codos; la de salida regula el nivel de líquido que se debe mantener dentro del biodigestor. En la Figura 1 se detallan las dimensiones de las cajas de entrada y salida.

Se extendió el tubular de polietileno calibre 800 pigmentado, negro protegido con resina contra luz ultravioleta (LUV) de 1.25 m de diámetro y 24 m de largo, sobre un piso seco, firme, sin piedras u objetos que pudieran romperlo; luego se dobló a la mitad y se cortó en dos tubulares de 12 m de longitud cada uno y en cada extremo (del corte hacia el centro) se dibujó con un gis una línea de 1 m de longitud, que sirvió de guía para amarrar los tubos que salen de las cajas de entrada y salida. Un tubular se introdujo en el otro, el siguiente paso fue emparejar los tubulares sin que quedaran arrugas o pliegues entre ellos.

Centrado sobre el doblez en que se trazaron las dos líneas de 1 m y a la mitad de la longitud del tubular, se hizo una ranura de 1.9 cm (que perforó las dos capas del plástico), desde la parte interna de los tubulares. Por la ranura se introdujo el extremo roscado de un conector macho de PVC de 2.54 cm de

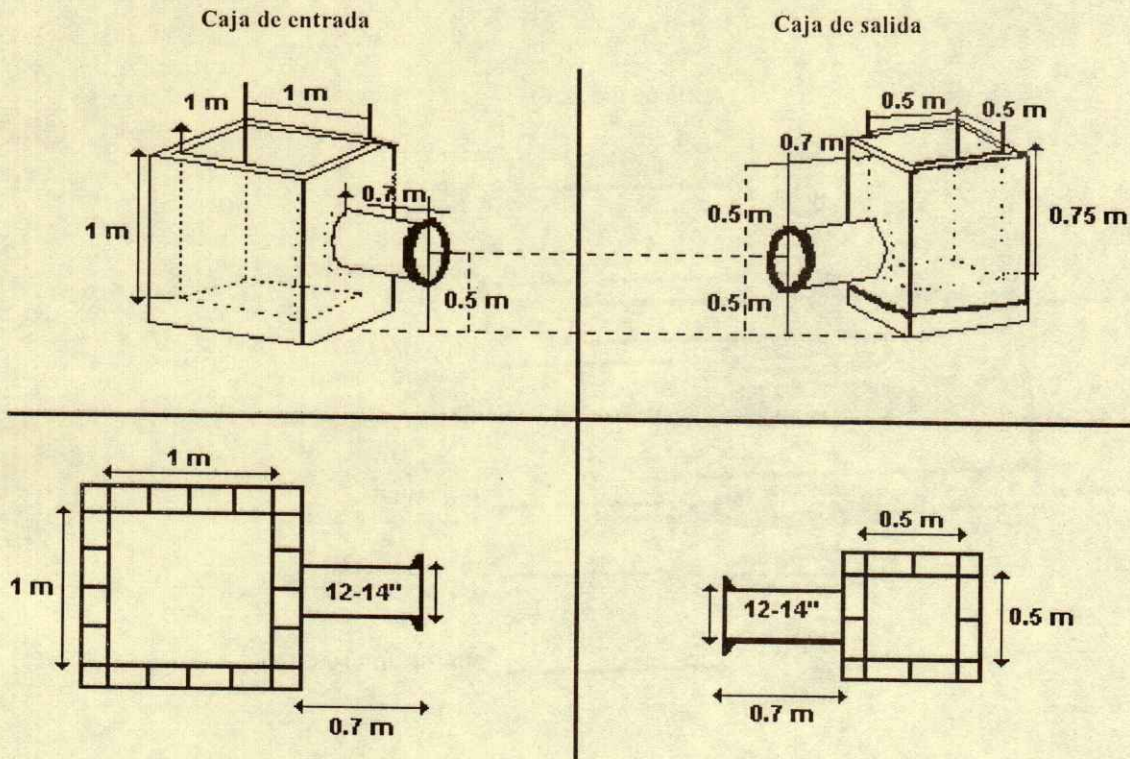


Figura 1. Dimensiones de las cajas de entrada y salida.

diámetro, en el que previamente se colocó una arandela acrílica de 19 cm de diámetro con un empaque de las bolsas. Una vez salida la rosca al exterior de los tubulares, se le insertó el otro empaque con la arandela acrílica, luego se procedió a enroscar la hembra sobre la rosca del macho de PVC de 2.54 cm, dándole el mayor ajuste manual posible.

El exterior del adaptador hembra no roscado se limpió, allí se pegó un tubo de PVC de 20 cm de longitud y 2.54 cm de diámetro. En el extremo libre se acopló un adaptador para manguera y se unió la manguera de polietileno de 2.54 cm, que se aseguró con una abrazadera de cremallera. En la Figura 2 se muestra la forma de conectar la salida de gas.

Con la estructura extendida sobre el piso y la salida de gas en el centro y hacia arriba, se doblaron los bordes longitudinales hacia la salida del gas. Los extremos se doblaron hacia el centro en dobleces de 1 m de ancho (Figura 3). La bolsa del biodigestor se llevó a la fosa, colocándola en el piso de la misma, donde se desdobló hacia cada tubo.

Con el extremo de cada tubo dentro de las salidas de la bolsa, se hicieron pliegues regulares con el plástico, que cubrieron el conducto en forma uniforme. Con una abrazadera de platina de hierro con

ajuste de tornillo se fijó con firmeza el plástico a las cañerías.

Posteriormente, se procedió al llenado del biodigestor, labor que se hizo introduciendo el estiércol líquido fresco por la caja de entrada. A medida que el líquido subió de nivel dentro del biodigestor, se levantó el plástico en la parte central para evitar que el peso del fluido formara pliegues entre el plástico y las paredes de la fosa. El biodigestor se llenó hasta 70% de su capacidad y se verificó que no quedaran fugas de agua o gas durante el llenado y funcionamiento (Figura 4).

Se analizó la excreta líquida antes (influyente) y al término del proceso de biodigestión (efluente), las determinaciones que se hicieron fueron: pH, CE, SSed, DQO, DBO, UFC coliformes, temperatura, N, P, K, Ca, Fe, Mg, Cu, Zn.

Los métodos analíticos utilizados para cada determinación se presentan en el Cuadro 1.

Medición de Coliformes

La medición de colonias coliformes se realizó mediante el método de recuento, que es a partir de la

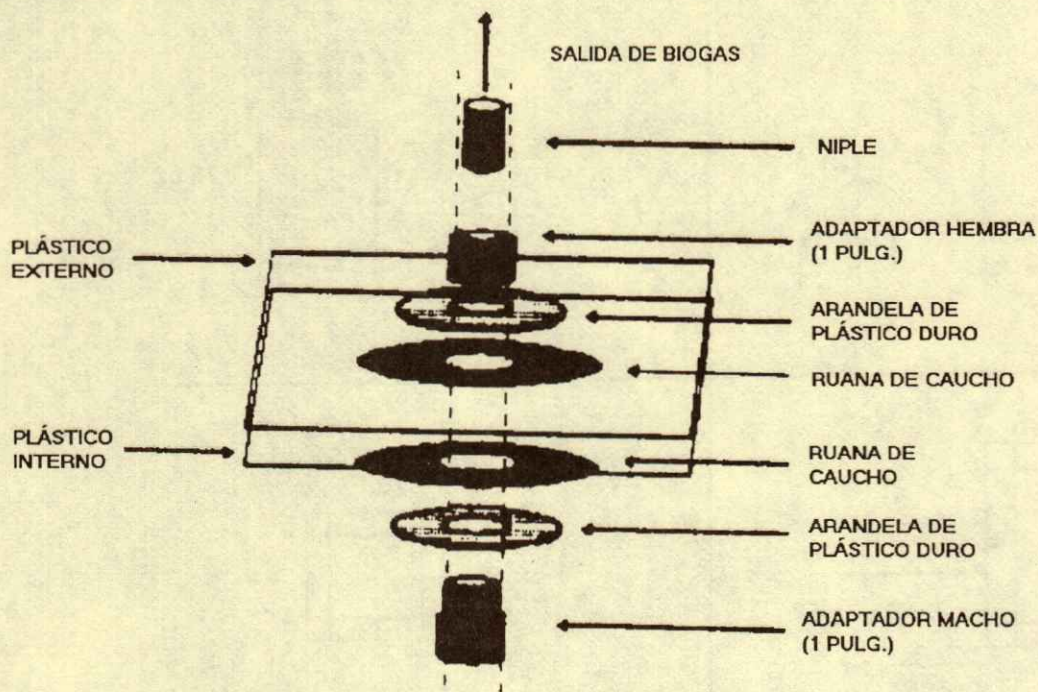


Figura 2. Sistema de salida del biogás.

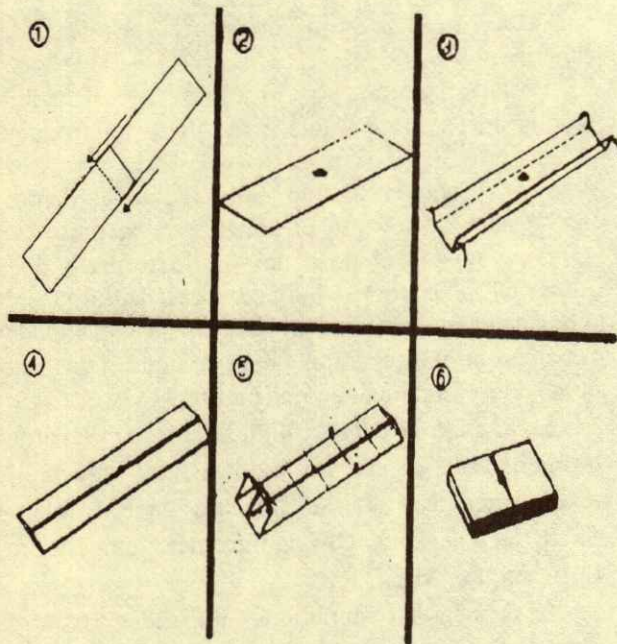


Figura 3. Secuencia del procedimiento para doblar la bolsa.

dilución seriada de la muestra y sembrada en placa, el cual se describe a continuación.

Medios de Cultivo

Se utilizó Agar de Eosina y Azul de Metileno (EAM). Es un medio de cultivo selectivo y diferencial adecuado para la producción de ácidos por bacterias fermentadoras de lactosa, permite el crecimiento de colonias coliformes; consideradas como típicas las que tienen centro obscuro con o sin brillo metálico, las colonias atípicas las que no tienen núcleo, de color rosa, mucoides y opacas, y como colonias negativas todos los otros tipos.

Se pesaron 22.5 g del medio de cultivo deshidratado (EAM) y se agregaron en 600 mL de agua destilada fría, dejándolo en reposo durante 15 min, se puso a calentar con agitación hasta que se disolvió totalmente, cuidando de no alcanzar la temperatura de ebullición. Después se puso a esterilizar en autoclave a 121 °C, durante 15 min, se distribuyó en volúmenes de 12 mL aproximadamente en las cajas Petri de 15 x 100 mm. Luego de la solidificación del medio, se envolvieron en papel aluminio y se pusieron en refrigeración a 10 °C. La siembra se realizó al día siguiente.

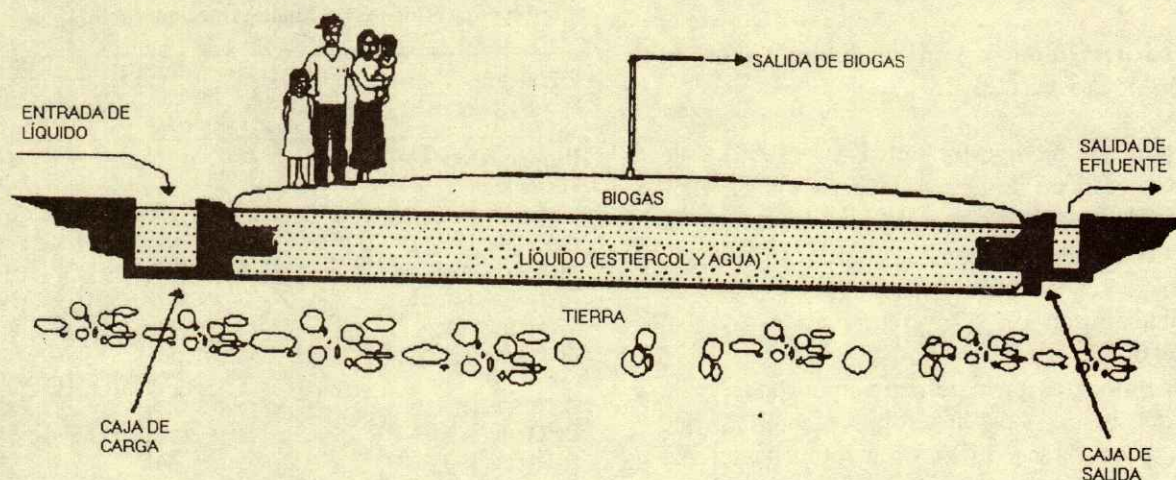


Figura 4. Nivel de líquido dentro del biodigestor.

Preparación de las Diluciones y Siembra

Las diluciones se prepararon en tubos de ensayo de 12 mm x 120 mm, que contenía un volumen de 9 mL de agua destilada y esterilizada, y a la que se le añadió 1 mL de muestra de excreta para la preparación de las diluciones 1:10 (10^{-1}), 1:100 (10^{-2}),

Cuadro 1. Parámetros evaluados y métodos utilizados.

Parámetro	Medio utilizado
pH	Potenciómetro. Lectura directa.
Conductividad eléctrica	Conductímetro. Lectura directa. Conductímetro marca Corning-90, el cual utiliza una solución estándar 1413 microsiemens m^{-1} .
Demanda bioquímica de oxígeno	Winkler modificado (CNA, 1996).
Demanda química de oxígeno	Reflujo abierto (CNA, 1996).
Sólidos sedimentables	Volumétrico (CNA, 1996).
Colonias coliformes	Recuento en placa y siembra por dilución en medio Agar de Eosina con Azul de Metileno (Tchobanoglous y Schoeder, 1985).
Temperatura	Lectura interna con termómetro de reloj, marca ACME.
Nitrógeno total	Kjeldahl (Bremner, 1965).
Fósforo total	Digestión ácida y lecturas con espectrometría de ultravioleta visible (AOAC, 1995).
Potasio, calcio, magnesio, cobre, hierro y zinc (totales)	Digestión ácida, se leyeron en espectrofotometría, de absorción atómica (AOAC, 1995).

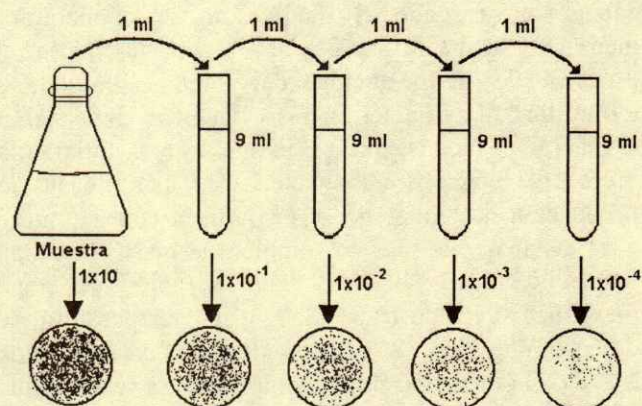


Figura 5. Preparación de la dilución y siembra.

así sucesivamente hasta (10^{-11}). Después se realizó la siembra de la muestra en las cajas Petri, previamente marcadas (Figura 5), al término de la siembra se pusieron a incubar durante 24 h a una temperatura de 35 °C.

La muestra de excreta se tomó tanto en el momento de llenar el digestor como al finalizar el proceso. La siembra se hizo al inicio de la digestión con diluciones de 1×10^{-1} hasta 1×10^{-11} con cuatro repeticiones por dilución, al final de la digestión se hicieron diluciones 1×10^{-1} hasta 1×10^{-6} con cuatro repeticiones por dilución.

Para el conteo de colonias coliformes se utilizó un contador "Quebec".

RESULTADOS Y DISCUSION

Análisis Físico, Químico y Microbiológico en la Biodigestión de la Excreta

El prototipo de biodigestor tipo FAO (1995) y de flujo continuo se llenó de una sola carga total a 70% de su capacidad, con excreta líquida de cerdo. El tiempo de llenado del biodigestor fue de 45 min. El experimento se realizó en el periodo marzo-abril de 1998, la biodigestión de la excreta líquida tuvo un tiempo de 50 días.

La temperatura es un parámetro importante en la operación del biodigestor anaerobio, debido a que tiene que procurarse un crecimiento bacteriano adecuado y aumentarse la velocidad de las reacciones bioquímicas que se dan en el proceso (Mejía, 1996). La excreta líquida utilizada tenía una temperatura inicial de 38 °C en la fosa, después de cuatro días de haber sido cargado el biodigestor, la temperatura interna se aumentó hasta 56 °C, acelerándose el proceso de fermentación del biodigestor (etapa termofílica). Las bacterias metanogénicas comenzaron a generar el biogas, que se acumuló hasta inflarse la bolsa. El biogas se liberó (en este experimento la producción de biogas no se evaluó), el cual se purgó para evitar que la presión rompiera la bolsa. La etapa termofílica duró 10 días, luego se inició la etapa mesofílica que duró 36 días y la temperatura se descendió de 56 a 32 °C, llegando a una estabilización a 23 °C, la medición de la temperatura se realizó cada 24 horas.

Mejía (1996) señaló, que las características del sustrato suministrado al biodigestor anaerobio son de gran importancia, ya que los requerimientos nutrimentales de los microorganismos anaerobios son especiales, debido a su lento metabolismo y a que la regeneración de nuevas células también es muy baja, la fijación de los elementos nutritivos como el nitrógeno y el fósforo es escasa, no así el consumo de carbono que es transformado a metano y a dióxido de carbono. En la biodigestión, el material orgánico se separa y se precipita en forma natural depositándose los lodos en el fondo. Los elementos nutricionales en el material orgánico son utilizados por los microorganismos para realizar sus procesos metabólicos. Cabe mencionar que el lodo no se analizó por resultar poco práctico su manejo; sin embargo, la parte líquida (efluente) sí se evaluó, por ser la que se puede inyectar en sistemas de fertigración o aplicarla a los cultivos de manera foliar (Cuadro 2).

Cuadro 2. Parámetros físicos, químicos y microbiológicos en el influente y efluente del biodigestor anaerobio.

Parámetros	Influente (carga inicial)	Efluente (carga final)
Nitrógeno total (%)	0.1036	0.058
Fósforo total (mg L ⁻¹)	179	17.2
Potasio total (mg L ⁻¹)	263.9	363.8
Calcio total (mg L ⁻¹)	56.6	19.7
Magnesio total (mg L ⁻¹)	109.3	59.3
Hierro total (mg L ⁻¹)	2.64	1.159
Cobre total (mg L ⁻¹)	1.3	0.225
Zinc total (mg L ⁻¹)	26.7	0.611
pH	7.6	7.05
CE (dS m ⁻¹)	5.8	4.08
DQO (mg L ⁻¹)	2640.8	1399
DBO (mg L ⁻¹)	543	172.2
SSed (mg L ⁻¹)	1672	210
UFC coliforme en 100 mL ⁻¹	9 x 10 ¹¹	0

La calidad del efluente obtenido de la biodigestión de la excreta varía de acuerdo con la cantidad de sólidos sedimentables totales contenidos en está, ya que estos sólidos son los que sirven de alimento a los microorganismos responsables de la biodigestión. Por ello, entre mayor sea la concentración de sólidos totales, se tendrá mayor contenido de nutrimentos en el efluente (Botero y Thomas, 1987).

La tendencia de los parámetros analizados al inicio y al final del proceso mostró una reducción en su contenido con los siguientes porcentajes: N 44.02%, P 90.36%, Ca 66.95%, Mg 45.75%, Cu 83.08%, Fe 56.07% y Zn 97.8%. El potasio fue el único elemento que incrementó su contenido en 137.85%.

El olor fétido de la excreta se eliminó por acción de los microorganismos presentes en el estiércol de cerdo.

El rango óptimo del pH para lograr una mayor eficiencia en la biodigestión es entre 6.6 a 7.6 (McCarty, 1964). La biodigestión, cuando mantiene este rango de pH, es un indicador de que está operando correctamente. El equilibrio ácido-base que tiene lugar en la operación de los biodigestores anaerobios es muy importante por la presencia de los diversos tipos de microorganismos que están en el medio y que requieren ser neutralizados para restituir el pH (Mejía, 1996). El pH es un parámetro muy importante en la disponibilidad de los nutrimentos. En este experimento, el pH se mantuvo dentro de los rangos deseables para un proceso de biodigestión adecuado, ya que el pH del influente fue de 7.6 y se redujo a 7.05 al término de la biodigestión (efluente).

La conductividad eléctrica indica la concentración de sales minerales disueltas en el agua. Este parámetro tuvo un valor inicial de 5.8 dS m⁻¹ y se redujo en 29.65% al terminar el proceso con 4.08 dS m⁻¹, lo cual indica que los microorganismos van consumiendo los compuestos solubles del sustrato. La demanda bioquímica de oxígeno es un parámetro que mide el potencial contaminante de las aguas residuales, las bacterias aerobias consumieron 68.3% del oxígeno que utilizaron para degradar la materia orgánica biodegradable. La demanda química de oxígeno también es un indicador de contaminación, que mide la cantidad de oxígeno necesario para oxidar la materia orgánica degradable, así como también los restos de materiales fibrosos, ligninas y otros. La DQO disminuyó en 47.03%. Esto indica que la actividad de los microorganismos, así como las condiciones del ambiente anaerobio, fueron responsables de la degradación, redujeron su actividad y con ello el consumo de oxígeno.

En lo referente a coliformes, éstos se midieron al inicio de la carga con un conteo de 9×10^{11} UFC mL⁻¹ de muestra, los cuales quedaron en cero a 50 días, que fue el tiempo total de retención de la excreta. Lo anterior se corroboró en el efluente obtenido, el cual carecía de olor que es también un indicativo del grado de contaminación de la excreta. Por lo que respecta a los sólidos sedimentables totales (SSed), una parte se precipitó al fondo del biodigestor y otra quedó suspendida en la parte líquida con 210 mg L⁻¹.

CONCLUSIONES

En los trabajos de biodigestión de la excreta líquida, el tiempo de retención de la excreta dentro del digestor fue de 50 días. Este tiempo puede variar por estar directamente influenciado por la temperatura, de esta manera el tiempo de retención puede reducirse a 30 días si existen temperaturas ambientales muy altas, y alargarse hasta 90 días si las temperaturas permanecen bajas.

El contenido de nutrientes obtenido del efluente fue bajo, debido a que la cantidad de sólidos sedimentables en la excreta en el momento de cargar el biodigestor estuvo por debajo de 2500 mg L⁻¹ que es la cantidad óptima.

Para lograr mayor eficiencia en el proceso de biodigestión y tener un abono más rico en nutrientes, es necesario que la excreta líquida contenga mínimo 12% de sólidos totales ó 2500 mg L⁻¹ de sólidos sedimentables.

Los coliformes se eliminaron en 100% en un tiempo de 50 días, tomando en cuenta que la carga se hizo en el período de verano.

LITERATURA CITADA

- AOAC. 1995. Official methods of analysis. Association of Official Analytical Chemist. 13a ed. Washington, DC.
- Botero, B.M. y R.P. Thomas. 1987. Biodigestor de bajo costo para la producción de combustible y fertilizante a partir de excretas. Manual para su instalación, operación y utilización. Centro Internacional de Agricultura Tropical. Cali, Colombia.
- Bremner, J.M. 1965. Total nitrogen. pp. 1149-1178. In: C.A. Black (ed.). Methods of soils analysis (Part 2). American Society of Agronomy. Madison, WI.
- CEMAT. Centro Mesoamericano de Estudios sobre Tecnología Aplicada. 1977. Planta de biogas a pequeña escala de la India. Handbook of Appropriate Technology of the Canadian Munger Foundation. Guatemala, Guatemala.
- CNA. Comisión Nacional del Agua. 1996. Normas Oficiales Mexicanas (NOM) y Metodológicas para Análisis de Aguas. Cuernavaca, Morelos, México.
- Day, D. 1987. Management swine wastes. Asociación de Médicos Veterinarios Especialistas en Cerdos. Acapulco, Gro., México.
- FAO. 1995. Biodigestor de plástico de flujo continuo, generador de gas y bioabono a partir de aguas servidas. CIPAV Fundación Centro para Investigación en Sistemas Sostenibles de Producción Agropecuaria. Guatemala, Guatemala.
- Feigin, A., I. Ravina y J. Shalnev. 1991. Irrigation with treated sewage effluent. Management for environmental protection. Adv. Ser. Agric. Sci. 17: 60-68. Springer-Verlag. Berlin, Germany.
- Hayes, T.D., W.J. Jewell, D.S. Orto, K.J. Franconi, A.P. Genschener y D.F. Sherman. 1979. Anaerobic digestion of cattle manure. pp. 255-286. In: A. Stafford, B.I. Wheatley y D.E. Hughes. Anaerobic digestion. Applied Science Publishers. London, England.
- INEGI. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. 1997. Anuario Estadístico de Yucatán. México, DF.
- Kennedy, J.K. y D.V. Berg. 1982. Anaerobic digestion of piggery waste using a stationary fixed film reactor. Agric. Wastes 4: 151-158.
- Mandujano M., I. 1981. Biogas: Energía y fertilizantes a partir de desechos orgánicos. Manual para el promotor de la tecnología. Organización Latinoamericana de Energía. Cuernavaca, Morelos, México.
- Marty, B. 1984. Microbiology of anaerobic digestion. pp. 72-85. In: A.M. Bruce, A. Kouzeli-Katsiri y P.J. Newman. Anaerobic digestion of sewage sludge and organic agricultural wastes. Elsevier. New York.
- McCarty, P.G. 1964. Anaerobic waste treatment fundamentals. Part 1. Chemistry and microbiology. Public Works 95: 123-126.
- McCaskey, A.T. 1990. Microbiological and chemical pollution potential of swine waste. pp. 12-32. In: Memorias del Primer Ciclo Internacional de Conferencias sobre Manejo y Aprovechamiento de Estiércol de Cerdos. CINESTAV. Guadalajara, Jal., México.
- Mejía M., G. 1996. Digestión anaerobica. Folleto Técnico 1. Universidad Autónoma de Yucatán. Mérida, Yuc., México.

- Noyola A. y Monroy O. 1994. Experiencias y expectativas del tratamiento de residuales porcinos en México. Universidad Autónoma Metropolitana. Iztapalapa. pp. 331-340. *In*: III Taller y Seminario Latinoamericano "Tratamiento Anaerobio de Aguas Residuales". Montevideo, Uruguay.
- Salazar G., G. 1993. Los digestores: Una alternativa energética en la porcicultura y un medio para evitar la contaminación. SARH-INFAP-CIPAC. Campo Experimental Centro de Jalisco. Guadalajara, Jalisco, México.
- Soria F., M., J. Tun S., A. Trejo R. y R. Terán S. 1994. Producción de hortalizas en la península de Yucatán. SEP-DGETA. Instituto Tecnológico Agropecuario No. 2. Conkal, Yucatán, México.
- Soria F., M., J. Tun S., A. Trejo R. y R. Terán S. 2000. Tecnología para producción de hortalizas a cielo abierto en la península de Yucatán. SEP-DGETA. Instituto Tecnológico Agropecuario No. 2. Conkal, Yucatán, México.
- Soubes, M. 1994. Biotecnología de la digestión anaerobia. pp. 136-148. *In*: III Taller y Seminario Latinoamericano "Tratamiento de Aguas Residuales". Montevideo, Uruguay.
- Tchobanoglous, G. y E.D. Schoeder. 1985. Water quality: Characteristics, modeling, modification. Addison-Wesley. Reading, MA.
- Vázquez B., E. y A. Manjarrez R. 1993. Contaminación del agua subterránea por la actividad porcícola. Tecnología del Agua (España) 109: 38-43.
- Verastegui L., J. 1980. El biogas como alternativa energética para zonas rurales. OLADE (Organización Latinoamericana de Alternativas de Energía). Boletín Energético del Ecuador 14: 57-94.
- Viñas, M. 1994. Criterios de diseño y escalado de reactores anaerobios. pp. 111-123. *In*: III Taller y Seminario Latinoamericano "Tratamiento Anaerobio de Aguas Residuales". Montevideo, Uruguay.

AGREGACION POR ESPECIES VEGETALES Y ABONOS ORGANICOS EN TEPETATES FRACTURADOS EN CONDICIONES DE INVERNADERO

Aggregation by Plants and Manure in Fragmented Tepetates under Greenhouse Conditions

Otilio Acevedo-Sandoval¹, Alma Velázquez-Rodríguez² y David Flores-Román²

RESUMEN

El objetivo de este trabajo fue determinar la formación y estabilidad de agregados a partir de tepetates fragmentados y evaluar el efecto de especies vegetales y abonos en la agregación. Se utilizaron fragmentos de tepetate blanco (TB) y amarillo (TA) en macetas. Se adicionó estiércol de bovino y de gallina. Las especies fueron: *Chloris gayana*, *Leucaena esculenta* y *Psidium guajava*. El diseño experimental fue tetrafactorial con arreglo completamente al azar y tres repeticiones. Los coeficientes de dispersión en el TB fueron altos con tendencia a disminuir; en el TA, los valores fueron de medios a altos y tendieron a aumentar; la estabilidad estructural fue alta; los agregados que predominaron en seco fueron de 7 a 10 mm. Los agregados estables al agua se concentraron en las fracciones mayores que 5 mm; el TA presentó una menor macroestructuración y mayor disgregación, en relación con el TB. Las conclusiones señalaron que los coeficientes de dispersión altos no correspondieron a coeficientes de estabilidad estructural bajos; los tratamientos sin plantas y sin abonos presentaron porcentajes de agregados estables iguales o mayores que los obtenidos con los abonos; la macroestructuración estuvo más influida por las especies que por los abonos; el pasto Rhodes produjo la mayor agregación en seco y en húmedo.

Palabras clave: Capas endurecidas-fragmentación, materia orgánica-estabilidad estructural.

¹ Instituto de Investigaciones en Ciencias de la Tierra, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, km 4.5 carretera Pachuca-Tulancingo. 42074 Pachuca, Hidalgo. (acevedo@uaeh.reduaeh.mx)

² Instituto de Geología, Universidad Nacional Autónoma de México. México D.F.

Recibido: Septiembre de 1996. Aceptado: Septiembre de 2001.
Publicado en Terra 19: 363-373.

SUMMARY

This work studied the formation and water-stability of aggregates from fragmented duripans (tepetates) and evaluated the effect of plant species and manure on the aggregation process. Fragments of white tepetate (TB) and yellow tepetate (TA) were used in pots. Cattle and chicken manure was added. The species were *Chloris gayana*, *Leucaena esculenta*, and *Psidium guajava*. The experimental design was factorial with a completely random array and three replications. Dispersion coefficients in TB were high with a tendency to diminish; in TA values were from medium to high and tended to increase; structural stability was high. The dominant aggregates in dry conditions were from 7 to 10 mm; water-stable aggregates were concentrated in fractions larger than 5 mm; and TA had less macrostructuration and more disgregation relative to TB. The conclusions indicate that there was no correspondence between high dispersion coefficients and low structural stability coefficients; the treatments without plants and manure had percentages of water-stable aggregates equal to or higher than those obtained with manure; macrostructuration was more influenced by plants than by manure; Rhodes grass produced the most aggregation in dry and wet conditions.

Index words: Hardpan fragmentation, organic matter structural stability.

INTRODUCCION

Un agregado es un grupo de dos o más partículas primarias que presentan una cohesión mucho más fuerte entre sí que con otras partículas que las rodean (Hillel, 1982; Diné *et al.*, 1991). La agregación del suelo es un fenómeno dinámico que afecta la retención y el movimiento del agua, el intercambio de gases, la germinación, el desarrollo de las raíces, la porosidad y la erosión. Perfect y Key (1990) y Diné *et al.* (1991) han demostrado que algunos

componentes de la materia orgánica y el incremento en la actividad microbiana se correlacionan significativamente con la estabilidad de los agregados del suelo. Beare *et al.* (1994) apoyaron la hipótesis de que los microagregados son estabilizados por la materia orgánica más humificada y que su estabilidad aumenta conforme disminuye su tamaño. Por otra parte, Hillel (1982) mencionó que las raíces de las especies vegetales y los microorganismos del suelo agregan las partículas por mecanismos complejos como adsorción, envoltura o enrollamiento físico y cementación por secreciones mucilaginosas.

Los tepetates son horizontes endurecidos por diferentes agentes cementantes como la sílice, el carbonato o el sulfato de calcio y los sesquióxidos, en función de los cuales reciben diferentes nombres. Esta investigación tuvo como objetivo determinar la formación y estabilidad de agregados, en seco y en húmedo, a partir de tepetates fragmentados y evaluar el efecto de especies vegetales y abonos orgánicos en la agregación de dichos materiales en condiciones de invernadero. Existe poca información sobre este tema, ya que la mayoría de los trabajos realizados en tepetates se han dirigido principalmente a evaluar la actividad de los cultivos en función de la roturación (Camargo y Acosta, 1987), la adición de fuentes nutrimentales químicas y orgánicas (Arias, 1992; Etchevers *et al.*, 1992) y la rotación de cultivos (Márquez *et al.*, 1992; Nava *et al.*, 1992).

MATERIALES Y METODOS

Se recolectó tepetate blanco (TB) y amarillo (TA) de los municipios de Tepetzotlán y Nicolás Romero, estado de México, respectivamente. El material se trituró manualmente y se seleccionaron fragmentos de 2 a 12 mm, mismos que se colocaron en macetas de plástico sin perforaciones con capacidad para 6 kg. Simultáneamente, se adicionó estiércol bovino y de gallina (gallinaza), según el caso, equivalente a 50 t ha⁻¹.

Se seleccionaron las especies pasto Rhodes (*Chloris gayana* Kunth.), huaje rojo (*Leucaena esculenta* M. et S. ex A. DC. Benth) y guayaba (*Psidium guajava* L. var. China), que han demostrado su alta capacidad para establecerse en condiciones adversas de suelo (Cruz-Cisneros *et al.*, 1994; Velázquez-Rodríguez, 2000). Las especies vegetales se trasplantaron a las macetas con tepetate en el invernadero, donde se mantuvieron con una temperatura promedio de 22 °C y una humedad

relativa de 60%. Además, se estableció una repetición de los tratamientos, pero sin planta.

El material se analizó antes y después de aplicar los tratamientos. Las densidades aparente y real, la textura, el pH, las bases intercambiables, la capacidad de intercambio catiónico total (CICT), la materia orgánica, el nitrógeno total y el fósforo aprovechable se determinaron con base en las metodologías del Soil Survey Staff (1984). Los óxidos totales se determinaron por el método de Jackson (1970) y los óxidos libres (SiO₂, Al₂O₃ y Fe₂O₃) de acuerdo con Mehra y Jackson (1960). El análisis mineralógico en la fracción arcilla se realizó por difracción de rayos X. La estabilidad en seco y en húmedo se determinó por el método de Sávinov (Kaúrichev *et al.*, 1980).

La cuantificación de los diferentes tamaños de microagregados se realizó por el método de Kachinsky (Oleschko *et al.*, 1992), utilizando la relación:

$$K_1 = (a/b)100$$

Donde: K₁ = Coeficiente de dispersión en porcentaje.

a = Contenido en porcentaje de la fracción de microagregados en el análisis sin dispersante.

b = Contenido en porcentaje de la fracción de microagregados en el análisis con dispersante.

El coeficiente estabilidad estructural de Vageler, K₂, (Kaúrichev *et al.*, 1980) se determinó mediante la fórmula:

$$K_2 = [(Arcilla I - Arcilla II) / Arcilla I]100$$

Donde: K₂ = Coeficiente de estabilidad estructural.

Arcilla I = Contenido de arcilla en el análisis de textura (Day, 1965).

Arcilla II = Contenido de arcilla en el análisis de microagregados.

Al ser más bajo, el valor resultante de K₁ expresa la mayor estabilidad de los microagregados.

A partir de los resultados del análisis de agregados en seco, se calculó el coeficiente de estructura, Ke (Oleschko *et al.*, 1992), que relaciona el porcentaje de agregados de 0.25 a 12 mm y la suma de los porcentajes de agregados mayores que 12 mm y menores que 0.25 mm.

$$Ke = A/B$$

Donde: Ke = Coeficiente de estructuración.

A = Suma de agregados de 0.25 a 12 mm.

B = Suma de agregados menores que 0.25 y mayores que 12 mm.

Cuanto mayor es el valor de K_e , más estructurado es un suelo.

Se utilizó un diseño experimental tetrafactorial, con arreglo de los tratamientos completamente al azar y tres repeticiones. Las unidades experimentales fueron: una planta por maceta para guayaba, tres para huaje rojo y cuatro macollos para pasto Rhodes. Los factores estudiados fueron: (A) especies vegetales, (B) tepetates, (C) estiércoles y (D) períodos de cortes (seis y doce meses). Los datos se analizaron estadísticamente utilizando un análisis de varianza tetrafactorial y la prueba de comparación de medias de Tukey.

Caracterización de los Tepetates Utilizados

El TB presentó color en seco 7.5YR8/0 (blanco); densidad aparente, 1.17 g cm^{-3} ; densidad real, 1.91 g cm^{-3} ; porosidad total, 38.7%; textura franco arcillosa; pH relación 1:2.5, 9.1; bases intercambiables (Ca^{2+} 8.0, Mg^{2+} 8.0, Na^+ 2.63 y K^+ 0.12, $\text{cmol}_+ \text{ kg}^{-1}$; CICT, $50.5 \text{ cmol}_+ \text{ kg}^{-1}$); relación arcilla-CICT, 0.71; materia orgánica, 0.3%; nitrógeno total, 0.03%; y fósforo aprovechable, 0.05 mg kg^{-1} .

El TA presentó color en seco 10YR6/4 (pardo amarillento claro); densidad aparente, 2.10 g cm^{-3} ; densidad real, 2.19 g cm^{-3} ; porosidad total, 5.0%; textura franca; pH relación 1:2.5, 7.4; bases intercambiables (Ca^{2+} 6.5, Mg^{2+} 8.5, Na^+ 8.5 y K^+ 0.55, $\text{cmol}_+ \text{ kg}^{-1}$; CICT, $17.3 \text{ cmol}_+ \text{ kg}^{-1}$); relación arcilla-CICT, 0.93; materia orgánica, 0.2%; nitrógeno total, 0.01%; y fósforo aprovechable, 0.05 mg kg^{-1} .

Los óxidos totales para TB fueron: SiO_2 , 83%; Al_2O_3 , 17%; y Fe_2O_3 , 3%; y para TA SiO_2 , 60%; Al_2O_3 , 4.14%; y Fe_2O_3 , 1.25%. Los óxidos libres para TB fueron: SiO_2 , 0.13%; Al_2O_3 , 0.01%; Fe_2O_3 , 0.05%; y para TA fueron: SiO_2 , 0.14%; Al_2O_3 , 0.07%; y Fe_2O_3 , 0.77%. La mineralogía para el TB fue:

crystalita, montmorillonita y material amorfo; y para el TA fue: haloisita, montmorillonita, cristobalita, plagioclasa y mica.

RESULTADOS Y DISCUSION

Microagregación

Con base en la clasificación de Oleschko *et al.* (1992), en el TB, los valores del coeficiente de dispersión (Cuadro 1) fueron altos y con tendencia a disminuir con el tiempo. Excepto en el caso de los tratamientos con gallinaza, los cuales dieron los valores más bajos. Entre especies, el huaje rojo, para la primera etapa, obtuvo los valores más altos y para la segunda, los más bajos. En el TA (Cuadro 1), los valores fueron de medios a altos y, en general, tendieron a aumentar a través del tiempo. No se observó una tendencia definida entre abonos. El pasto Rhodes obtuvo los valores más altos y el huaje rojo los más bajos.

Se considera que los mayores coeficientes de dispersión observados en el TB se debieron a las altas concentraciones de sílice (83% de SiO_2) que al estar en contacto con el agua se disuelve (Thiry y Millot, 1987); por el contrario, en el TA, los valores observados representan la menor cantidad de sílice (60% de SiO_2) y el mayor intemperismo del material, como se observa en la caracterización de los tepetates, lo cual da lugar a una mineralogía más estable (Duchaufour, 1984).

La disminución de la dispersión con el tiempo, en el TB, podría explicarse por la estabilización de sus minerales y por el efecto agregante de los abonos y del sistema radical de las plantas (Dinel *et al.*, 1991); a su vez, se considera que la tendencia, en el TA, se debió a la alteración secuencial de sus minerales (Chesworth, 1977). En relación con los abonos, se considera que los valores más bajos dados por la gallinaza se debieron al efecto agregante de dicho

Cuadro 1. Coeficiente de dispersión de microagregados de Kachinsky, K1 (%).

Período	Tratamiento	Tepetate blanco			Tepetate amarillo		
		Guayaba	Huaje rojo	Rhodes	Guayaba	Huaje rojo	Rhodes
6 meses	T	17.7	19.0	15.3	8.7	6.2	13.6
	B	13.0	20.4	19.1	8.9	5.9	5.9
	G	15.7	17.5	12.3	6.8	4.2	18.7
12 meses	T	15.8	16.5	16.6	10.4	6.7	14.6
	B	14.3	10.9	20.8	5.5	4.3	9.9
	G	13.6	9.6	13.4	15.4	5.7	8.7

T = testigo; B = estiércol de bovino; G = estiércol de gallina.

Cuadro 2. Coeficiente de estabilidad estructural (microestructuración) de Vageler, K2 (%).

Período	Tratamiento	Tepetate blanco			Tepetate amarillo		
		Guayaba	Huaje rojo	Rhodes	Guayaba	Huaje rojo	Rhodes
6 meses	T	81.67	89.67	63.33	74.67	36.00	88.33
	B	40.00	92.00	90.00	46.67	49.67	66.33
	G	91.00	86.00	78.00	72.00	55.33	90.33
12 meses	T	90.67	89.67	62.33	74.00	69.33	86.00
	B	77.33	77.67	87.33	36.00	41.67	48.67
	G	89.00	85.67	80.00	62.00	60.00	68.67

T = testigo; B = estiércol de bovino; G = estiércol de gallina.

abono; Kononova (1982) mencionó que los abonos orgánicos que contienen proporciones elevadas de calcio (humatos de calcio) y otros cationes divalentes, como es el caso del estiércol de gallina, forman uniones entre ellos y los componentes minerales de la fase sólida.

En el Cuadro 2, se presentan los coeficientes de estabilidad estructural y se observa que la mayor parte son valores altos. Un suelo posee alto potencial de estructuración cuando su coeficiente de dispersión es bajo. En este caso, los coeficientes de dispersión fueron altos, por lo tanto, se esperaría que el coeficiente de estructuración fuera bajo; sin embargo, fue alto. Cabe aclarar que lo expuesto por Oleschko *et al.* (1992) es para suelo, por lo que dicha relación no resulta válida para tepetates. Estos materiales presentan una estabilidad muy variable, probablemente debido al material silícico amorfo presente que actúa como agente cementante, a las cargas electroquímicas de las arcillas y a la materia orgánica, factores que actúan en forma distinta en un suelo. Fue notoria la mayor estabilidad estructural del TB.

Agregados en Seco

Los resultados del análisis de la estabilidad y distribución de macroagregados en seco, con relación a las especies utilizadas, se presentan en los Cuadros 3, 4, 5 y 6. Con las tres especies estudiadas, en los dos materiales se tuvo un porcentaje alto de agregados en seco de diámetro mayor que 7.0 mm, el cual decrece a los doce meses de establecidos los cultivos; lo anterior puede explicarse ya que, a corto tiempo, la transformación de la materia orgánica es reducida y se favorece la formación de macroagregados; conforme el proceso de humificación aumenta, disminuye el porcentaje de agregados grandes y se incrementa la presencia de microagregados (Beare *et al.*, 1994).

El intervalo de agregación que predominó fue de 7.0 a 10.0 mm, lo que puede considerarse positivo, ya que sólo los macroagregados de 4.0 a 10.0 mm proporcionan propiedades físicas favorables para el crecimiento de los cultivos (Narro, 1994). La guayaba promovió los mayores porcentajes de agregados de 7.0 a 10.0 mm en el TB (Cuadro 3), mientras que en el TA, el pasto Rhodes y el huaje rojo presentaron porcentajes mayores que la guayaba (Cuadros 4 y 5).

Por otro lado, los agregados menores que 0.25 mm mostraron un incremento en su porcentaje, de seis a doce meses, lo cual apoya lo expuesto anteriormente sobre el grado de transformación de la materia orgánica. Es importante destacar que al inicio del experimento se trabajó con fragmentos de tepetate de 2.0 a 12.0 mm y que al término de la investigación se tuvieron agregados mayores que 12.0 mm y menores que 2.0 mm, lo cual indica que se llevó a cabo un proceso de agregación y disgregación en el material, por efecto tanto biológico como fisicoquímico. Como puede observarse en el Cuadro 6, también los tratamientos sin especies vegetales presentaron agregados mayores que 12.0 mm y menores que 2.0 mm. Aunque en porcentajes menores que los obtenidos en los tratamientos con influencia de las especies, lo cual pudo deberse a un efecto físico de presión del material superior, que ocasionó compactación y unión de partículas; a un efecto de recementación por la sílice amorfa en solución o a la acción combinada de ambas, como han reportado Lal y Greenland (1979), Utomo y Dexter (1982) y Perfect y Key (1990).

En el análisis factorial de los agregados en seco, se observó que las especies vegetales tuvieron un efecto altamente significativo ($P = 0.01$) en la formación de agregados mayores que 0.5 mm, mientras que los abonos orgánicos únicamente influyeron en los intervalos de 7.0 a 12.0 mm y de 0.25 a 1.0 mm (Cuadro 7); todo lo cual coincide con

Cuadro 3. Comparación de medias de la distribución de macroagregados en seco y húmedo en guayaba.

Periodo	Tratamiento	Macroagregados											
		>12	12-10	10-7	7-5	5-3	3-2	2-1	1-0.5	0.5 - 0.25	< 0.25		
Meses		Tepetate blanco											
6	T	Seco	5.21	9.38	48.62	4.51	12.07	5.17	1.91	1.28	1.83	1.11	
			B	6.05	18.83	42.63	5.12	12.32	8.48	3.07	1.64	0.82	1.05
			G	5.33	19.07	45.92	5.57	12.61	6.74	1.84	1.05	0.83	1.05
	B	Húmedo	-	-	-	65.55	6.91	14.60	2.84	1.43	0.49	8.18	
			B	-	-	-	66.25	5.39	17.02	3.24	1.76	0.43	5.91
			G	-	-	-	68.99	5.96	12.31	1.84	1.12	0.42	9.36
12	T	Seco	7.05	17.38	38.33	5.77	12.42	8.66	4.35	2.95	1.32	1.76	
			B	4.81	13.12	38.17	7.01	13.93	8.76	5.52	4.55	1.67	2.47
			G	6.85	14.86	31.39	3.94	13.17	13.54	6.23	5.24	2.01	2.79
	B	Húmedo	-	-	-	69.29	4.33	13.47	3.54	2.05	0.67	6.64	
			B	-	-	-	54.24	7.03	20.70	4.76	2.34	0.77	10.16
			G	-	-	-	69.77	4.65	13.11	1.56	0.50	0.15	10.28
Meses		Tepetate amarillo											
6	T	Seco	10.51	17.09	29.01	3.05	10.96	6.88	4.54	5.88	4.85	7.21	
			B	30.10	14.45	25.95	2.74	7.39	5.85	3.11	3.52	2.73	4.22
			G	14.20	9.43	24.44	2.48	7.08	3.63	5.41	11.71	6.92	11.36
	B	Húmedo	-	-	-	31.07	3.35	12.16	4.04	6.83	6.95	35.61	
			B	-	-	-	44.75	3.41	11.15	3.60	6.57	5.49	25.02
			G	-	-	-	22.13	1.58	4.15	4.55	12.57	16.55	38.47
12	T	Seco	19.91	9.73	18.28	3.77	7.38	9.04	7.38	9.58	7.53	7.88	
			B	6.42	12.77	33.01	6.21	9.42	10.24	5.72	6.49	3.88	5.87
			G	23.20	4.81	14.47	2.32	5.78	5.55	7.41	13.99	9.61	12.89
	B	Húmedo	-	-	-	44.07	3.91	10.83	5.21	8.69	6.49	20.83	
			B	-	-	-	65.93	4.47	8.91	2.01	3.24	2.77	12.67
			G	-	-	-	12.29	1.47	4.67	4.38	12.80	12.75	51.63

T = testigo; B = estiércol de bovino; G = estiércol de gallina; - = intervalos no estimados.

lo expuesto por Dinel *et al.* (1991) acerca de que los diferentes grados de transformación de la materia orgánica dan lugar a la formación de agregados de determinado tamaño.

Estabilidad de Agregados en Húmedo

Los valores de estabilidad de agregados en húmedo se muestran en los Cuadros 3, 4, 5 y 6. Los macroagregados estables en agua se concentraron en la fracción con diámetro mayor que 5.0 mm. Los porcentajes de tales agregados fueron similares a los obtenidos en el análisis en seco; esto indica que en ambos tepetates los agregados formados son estables en agua. Considerando esta condición de estabilidad y su tamaño, dichos agregados confieren propiedades físicas favorables para un buen desarrollo de los cultivos (Lal y Greenland, 1979).

El contenido de agregados con diámetro menor que 0.25 mm se incrementó significativamente en el análisis en húmedo en relación con el análisis en seco, debido a la disgregación de los agregados de mayor tamaño, lo cual podría representar un incremento

potencial en el riesgo de erosión ya que, de acuerdo con Oleschko *et al.* (1992), los agregados con tamaños de 0.05 a 0.25 mm son los más susceptibles a la erosión hídrica. En el presente estudio, estos intervalos de agregados fueron mayores en el TA, por lo tanto, este tepetate presenta un mayor riesgo de ser erosionado por el agua.

El Cuadro 6 presenta la estabilidad en húmedo de los tratamientos sin especies vegetales. Se observa que los porcentajes de agregados de diámetro mayor que 5.0 mm fueron menores que los obtenidos con la guayaba y el huaje rojo, es decir, que estas especies promovieron la estabilidad en húmedo de dichos agregados; por otra parte, el pasto Rhodes incrementó los agregados menores que 0.25 mm. Asimismo, en aquellos tratamientos donde no se adicionó ningún abono, se presentaron porcentajes de agregados estables en húmedo iguales o mayores que los obtenidos con los estiércoles, lo que conlleva a los procesos de compactación y recementación ya señalados.

Con base en el análisis factorial, los abonos orgánicos favorecieron la estabilidad de los agregados

Cuadro 4. Comparación de medias de la distribución de macroagregados en seco y húmedo en huaje rojo.

Período	Tratamiento	Macroagregados Diámetro (mm)																	
		>12	12-10	10-7	7-5	5-3	3-2	2-1	1-0.5	0.5 - 0.25	< 0.25								
Meses			Tepetate blanco																
			6	T	Seco	6.92	26.83	35.62	3.53	12.83	9.28	2.25	0.93	0.67	0.82				
						B	4.97	26.42	39.71	4.08	13.79	8.98	1.90	1.00	0.73	0.90			
						G	4.32	21.04	32.59	3.59	15.40	12.85	4.44	2.59	1.29	1.88			
			6	T	Húmedo	-	-	-	69.56	5.39	16.55	2.49	1.05	0.29	4.57				
						B	-	-	-	59.36	5.79	18.45	4.45	2.46	1.87	7.62			
						G	-	-	-	63.41	6.57	18.37	2.97	1.29	0.45	6.93			
			12	T	Seco	8.23	13.93	26.10	2.68	11.48	7.85	6.91	3.64	5.57	6.95				
						B	4.86	16.33	34.91	3.92	13.45	9.86	5.42	4.94	2.54	3.76			
						G	6.32	12.91	33.94	3.04	12.17	8.71	5.85	7.27	4.22	5.36			
				12	T	Húmedo	-	-	-	70.92	5.10	14.83	2.04	0.75	0.18	6.18			
							B	-	-	-	72.78	5.13	14.24	2.88	1.21	0.26	3.49		
							G	-	-	-	71.14	5.44	16.17	2.19	0.73	0.15	4.17		
			Meses			Tepetate amarillo													
						6	T	Seco	5.40	15.78	30.46	5.13	12.74	14.69	7.21	4.43	1.85	2.33	
									B	6.60	13.97	26.16	5.54	13.00	15.09	7.02	5.62	2.85	4.14
									G	4.15	14.58	32.40	6.11	15.90	13.03	6.29	5.18	2.56	3.81
						6	T	Húmedo	-	-	-	34.47	3.36	11.10	4.94	11.34	8.26	26.54	
B	-	-							-	45.47	5.21	13.79	5.13	8.47	5.77	16.16			
G	-	-							-	40.81	4.61	15.75	5.16	8.53	5.75	19.40			
12	T	Seco				5.30	10.24	26.86	3.77	10.09	10.30	8.39	11.00	5.67	8.37				
						B	5.32	11.55	28.19	5.14	8.92	9.05	6.30	9.32	6.44	9.77			
						G	4.15	11.20	23.74	4.23	8.51	9.98	7.91	12.17	7.80	10.31			
	12	T				Húmedo	-	-	-	45.19	3.30	10.52	4.89	8.45	6.81	20.84			
							B	-	-	-	49.67	3.66	12.77	5.16	9.27	5.65	13.82		
							G	-	-	-	43.33	5.19	13.48	6.02	11.76	5.65	14.57		

T = testigo; B = estiércol de bovino; G = estiércol de gallina; - = intervalos no estimados.

Cuadro 5. Comparación de medias de la distribución de macroagregados en seco y húmedo en pasto Rhodes.

Período	Tratamiento	Macroagregados Diámetro (mm)																	
		>12	12-10	10-7	7-5	5-3	3-2	2-1	1-0.5	0.5 - 0.25	< 0.25								
Meses			Tepetate blanco																
			6	T	Seco	2.64	14.78	41.73	5.44	15.12	12.73	3.62	1.52	1.09	1.32				
						B	5.30	11.06	28.30	5.17	16.38	16.37	6.53	4.73	2.64	3.54			
						G	3.68	12.82	37.69	6.94	18.12	12.60	3.75	1.89	1.12	1.38			
			6	T	Húmedo	-	-	-	57.39	4.69	14.55	3.41	1.65	0.48	17.81				
						B	-	-	-	51.59	5.57	16.18	4.54	1.63	1.01	18.49			
						G	-	-	-	53.29	6.44	17.49	4.77	2.79	0.93	14.30			
			12	T	Seco	15.00	12.47	20.94	3.43	9.38	8.58	7.00	9.23	5.96	7.99				
						B	10.40	12.91	27.41	1.84	13.43	13.11	6.20	5.95	3.16	4.54			
						G	4.12	7.59	21.19	3.53	12.95	12.77	9.87	12.95	6.88	8.16			
				12	T	Húmedo	-	-	-	75.97	6.59	12.05	1.09	0.33	0.11	3.86			
							B	-	-	-	64.53	5.34	16.21	4.31	1.97	0.59	7.05		
							G	-	-	-	66.56	5.16	17.43	3.16	1.89	0.59	5.21		
			Meses			Tepetate amarillo													
						6	T	Seco	9.20	16.31	30.97	6.91	13.51	13.54	4.29	2.19	1.78	1.29	
									B	5.00	15.29	28.18	5.58	11.67	13.17	7.89	5.87	3.02	4.34
									G	4.57	12.25	25.78	5.74	14.38	15.80	8.17	6.65	2.81	3.85
						6	T	Húmedo	-	-	-	28.01	2.41	8.53	4.45	11.80	10.79	34.03	
B	-	-							-	38.29	3.38	12.19	5.81	11.57	8.75	19.99			
G	-	-							-	16.25	0.53	6.86	4.16	10.42	12.68	49.09			
12	T	Seco				17.00	11.45	24.94	3.86	10.84	9.73	5.72	6.31	4.08	6.10				
						B	10.61	7.56	21.51	3.24	10.78	12.11	9.65	10.96	6.45	7.21			
						G	8.48	8.22	17.14	3.04	8.35	9.24	10.36	16.04	9.69	9.43			
	12	T				Húmedo	-	-	-	56.13	2.61	9.66	3.03	4.93	3.87	19.77			
							B	-	-	-	46.79	2.59	6.89	3.45	8.60	6.43	25.25		
							G	-	-	-	36.95	3.13	11.65	4.85	7.31	5.97	30.13		

T = testigo; B = estiércol de bovino; G = estiércol de gallina; - = intervalos no estimados.

Cuadro 6. Comparación de medias de la distribución de macroagregados en seco y húmedo sin el efecto de las especies vegetales.

Período	Tratamiento	Macroagregados Diámetro (mm)										
		>12	12-10	10-7	7-5	5-3	3-2	2-1	1-0.5	0.5 - 0.25	< 0.25	
Meses		Tepetate blanco										
6	Seco	T	4.92	12.19	42.11	4.04	12.39	7.01	1.93	1.20	0.92	1.27
		B	3.62	16.25	32.65	3.53	17.70	3.40	2.94	1.73	1.02	1.16
		G	3.89	19.65	36.73	5.60	15.79	12.36	2.61	1.39	0.84	1.21
	Húmedo	T	-	-	-	60.38	5.46	19.98	3.33	1.43	0.47	8.44
		B	-	-	-	66.45	4.83	17.42	2.54	0.95	0.33	7.48
		G	-	-	-	58.80	8.02	23.02	2.62	1.28	0.57	5.69
12	Seco	T	5.58	15.98	39.35	6.52	12.77	12.70	2.99	1.55	1.09	1.46
		B	4.98	19.04	32.20	6.88	13.75	13.95	3.73	2.48	1.38	1.60
		G	4.49	18.10	37.64	7.16	13.51	12.50	2.77	1.57	0.95	1.32
	Húmedo	T	-	-	-	64.82	6.41	20.89	2.22	0.92	0.41	4.33
		B	-	-	-	48.17	5.34	25.73	4.99	2.67	1.01	12.10
		G	-	-	-	57.61	7.20	23.00	3.51	1.77	0.50	6.41
		Tepetate amarillo										
6	Seco	T	6.22	15.82	27.69	2.87	10.43	8.43	5.33	7.77	6.56	8.89
		B	8.97	25.80	35.00	3.05	8.92	6.68	2.97	3.24	2.02	3.35
		G	7.96	14.61	25.89	2.67	10.38	9.65	5.56	8.35	6.36	8.57
	Húmedo	T	-	-	-	43.03	3.91	10.80	4.55	8.77	6.19	22.74
		B	-	-	-	42.95	2.18	8.48	3.98	9.01	8.07	25.33
		G	-	-	-	37.39	3.64	13.58	4.66	9.16	7.05	24.53
12	Seco	T	4.65	12.92	27.94	5.30	10.85	12.82	5.63	6.61	5.18	8.09
		B	5.14	17.71	31.88	4.56	8.53	8.45	5.56	8.26	4.31	5.60
		G	3.92	13.30	26.58	4.75	9.84	12.11	6.54	9.81	6.18	6.96
	Húmedo	T	-	-	-	49.39	4.58	14.01	5.73	7.12	4.74	14.43
		B	-	-	-	41.21	4.44	14.61	6.79	11.85	5.94	15.15
		G	-	-	-	40.21	3.72	13.32	6.83	11.06	6.91	17.95

T = testigo; B = estiércol de bovino; G = estiércol de gallina; - = intervalos no estimados.

menores que 0.25 mm y su efecto fue altamente significativo (Cuadro 7), lo que coincide con lo reportado por Dexter (1976). La interacción de las especies vegetales y los abonos promovió significativamente la estabilidad de los agregados de 2.0 a 5.0 mm y menores que 1.0 mm. Con el tiempo, se incrementó la estabilidad de los agregados mayores que 5.0 mm y, a la vez, se redujo la proporción de agregados menores que 0.5 mm. Lo anterior puede explicarse con base en Hillel (1982), quien mencionó que la materia orgánica sin alterar no es un factor determinante en la agregación, ni mejora la estabilidad de los agregados, sino que su influencia se lleva a cabo a través de los productos intermedios de su descomposición, que son los que permiten la formación de enlaces permanentes, principalmente al nivel de microagregados. Sin embargo, con el paso del tiempo, los microagregados tienden a unirse entre sí y con otras partículas para formar macroagregados.

Coefficiente de Estructura del Tepetate

El resultado del análisis de varianza factorial del coeficiente de estructura (K_e) presentó diferencias altamente significativas por efecto de las tres especies,

en ambos tepetates. Por otro lado, las dos etapas de evaluación no presentaron diferencias estadísticas, pero al combinarse ambos factores, las diferencias fueron significativas (Cuadro 7). La macroestructuración en los dos tepetates estuvo influida por el crecimiento y la actividad del sistema radical de cada una de las especies vegetales y por el tiempo, mientras que las fuentes orgánicas no influyeron significativamente en el coeficiente de estructura. En las Figuras 1 y 2, se presentan los valores del coeficiente de estructura y se observa que la mejor macroestructura correspondió al TB, lo cual se debió a la menor alteración de los fragmentos (mínima disgregación), dicho comportamiento fue más notorio a los doce meses, cuyos valores se ajustan a una recta (Figura 1). En los Cuadros 3, 4 y 5, también se puede observar un incremento mayor de las partículas menores que 0.25 mm en el TA en relación con el TB, lo cual indica que el primero presentó una menor macroestructuración y una mayor disgregación. Por otra parte, en las dos etapas, en el TA se observó una mayor variabilidad en los coeficientes, debida probablemente a los diferentes grados de alteración de los fragmentos en los tratamientos estudiados. Asimismo, existe una tendencia hacia una

Cuadro 7. Análisis factorial de agregados en seco y estabilidad en húmedo.

Factores [†]	Agregados Diámetro (mm)									
	> 12	12-10	10-7	7-5	5-3	3-2	2-1	1-0.5	0.5-0.25	<0.25
	Agregados en seco									
A	18.78**	30.46**	11.69**	4.43**	9.37**	27.74**	41.09**	14.02**	1.86	1.69
B	50.36**	93.60**	135.73**	111.76**	201.57**	68.85**	68.13**	301.44**	220.84**	61.72**
AB	14.44**	6.38**	8.62**	4.26**	2.12	2.40	2.00	0.81	0.22	0.24
C	0.34	4.59*	4.48*	0.44	0.89	1.16	1.32	6.65**	4.15*	2.11
AC	1.31	2.88**	1.47	3.23**	1.22	0.64	0.43	0.52	0.57	0.78
BC	1.32	3.83*	5.36**	0.44	0.41	0.98	4.43*	6.62**	4.18*	0.56
ABC	1.21	3.35**	0.47	0.6	2.47*	2.33*	1.19	2.32*	0.91	1.83
D	1.41	57.45**	41.70**	95.76**	40.60**	19.68**	102.91**	85.28**	35.49**	3.54
AD	1.73	6.37**	1.29	5.15**	7.76**	5.34**	3.30*	4.85**	2.91	2.10
BD	4.79*	0.01	2.72	0.03	0.14	0.31	3.06	1.12	4.40*	1.10
ABD	1.87	9.21**	1.50	0.44	3.25*	1.71	0.84	1.06	0.35	1.07
CD	2.4	0.71	0.75	0.38	0.01	0.06	1.04	1.96	2.09	0.02
ACD	2.43*	0.82	2.19*	0.65	1.37	2.38*	2.67*	0.80	0.61	0.66
BCD	6.74**	0.23	0.96	5.12**	0.60	2.36	0.50	1.42	1.21	0.82
ABCD	2.45*	1.16	0.66	1.35	1.41	2.40*	2.83**	2.45*	0.84	1.49
CV	76.44	25.39	19.88	25.31	19.36	27.18	33.13	45.48	62.25	98.47
	Estabilidad de agregados en húmedo									
A	-	-	-	5.22**	2.53	7.53**	3.58*	2.45	2.62*	11.86*
B	-	-	-	231.77**	163.48**	146.56**	40.82**	455.70**	446.79**	268.63**
AB	-	-	-	0.62	1.62	4.21**	11.07**	2.45	0.52	2.12
C	-	-	-	2.37	0.05	0.87	0.30	0.19	1.34	5.08**
AC	-	-	-	1.55	3.15*	2.63*	1.38	2.21*	3.01**	2.31*
BC	-	-	-	2.27	0.15	0.38	0.51	0.15	1.31	3.95*
ABC	-	-	-	1.95	1.20	0.77	0.99	2.76*	3.17**	1.90
D	-	-	-	8.65**	0.32	0.01	1.32	0.02	6.54*	15.80**
AD	-	-	-	0.99	0.22	0.60	2.10	0.47	0.83	0.39
BD	-	-	-	1.18	1.95	0.71	1.02	0.19	5.58*	2.40
ABD	-	-	-	0.26	0.48	0.53	1.05	0.40	0.94	0.12
CD	-	-	-	0.02	0.52	0.41	0.16	0.35	0.33	0.05
ACD	-	-	-	0.29	0.56	0.84	0.78	0.44	0.48	0.70
BCD	-	-	-	0.32	0.30	0.90	0.22	0.04	0.49	0.04
ABCD	-	-	-	0.62	0.89	0.89	0.56	1.15	1.23	0.91
CV	-	-	-	25.53	33.31	33.02	44.31	54.08	67.27	52.32

[†] A = especies vegetales; B = tepetate blanco y amarillo; C = abonos orgánicos; E = periodos.

*Significativo a 0.05. **Significativo a 0.01. - = intervalos no estimados.

macroestructuración estable con el tiempo (Figura 2). Las especies vegetales tuvieron un papel importante; en ambos materiales destacó la influencia del pasto Rhodes desde la primera etapa de evaluación; el huaje rojo presentó coeficientes de estructura mínimos en el TB y altos en el TA. La especie con menor coeficiente de estructura fue la guayaba.

Influencia de las Especies Vegetales

El efecto diferencial de las especies vegetales en la agregación y disgregación de los tepetates se basa en principio en las características morfofisiológicas del sistema radical. La especie que dio los valores más altos de agregación en seco y en húmedo fue el pasto Rhodes. El sistema radical de esta especie es fascicular y, en consecuencia, no sólo abarca un

volumen mayor que la raíz axonomorfa de las arbóreas, sino que al ser muy densa intensifica los efectos de disgregación mecánica, agregación física por empaquetamiento y química por producción de sustancias mucilaginosas. Además, la continua muerte de raíces, principalmente de las raicillas, promueve una mayor actividad microbiana y un aumento de materia orgánica, lo que da como resultado una mayor cantidad de agregantes. En consecuencia, al haber un mayor número de raíces, todos estos efectos se presentan en mayor proporción que con las arbóreas, en las que, aun cuando la fuerza de penetración de la raíz es mayor y, por lo tanto, hay un fuerte fenómeno de disgregación y separación de agregados, la agregación tanto física como química es menor y muy localizada (Bathke *et al.*, 1992; Tisdall, 1994).

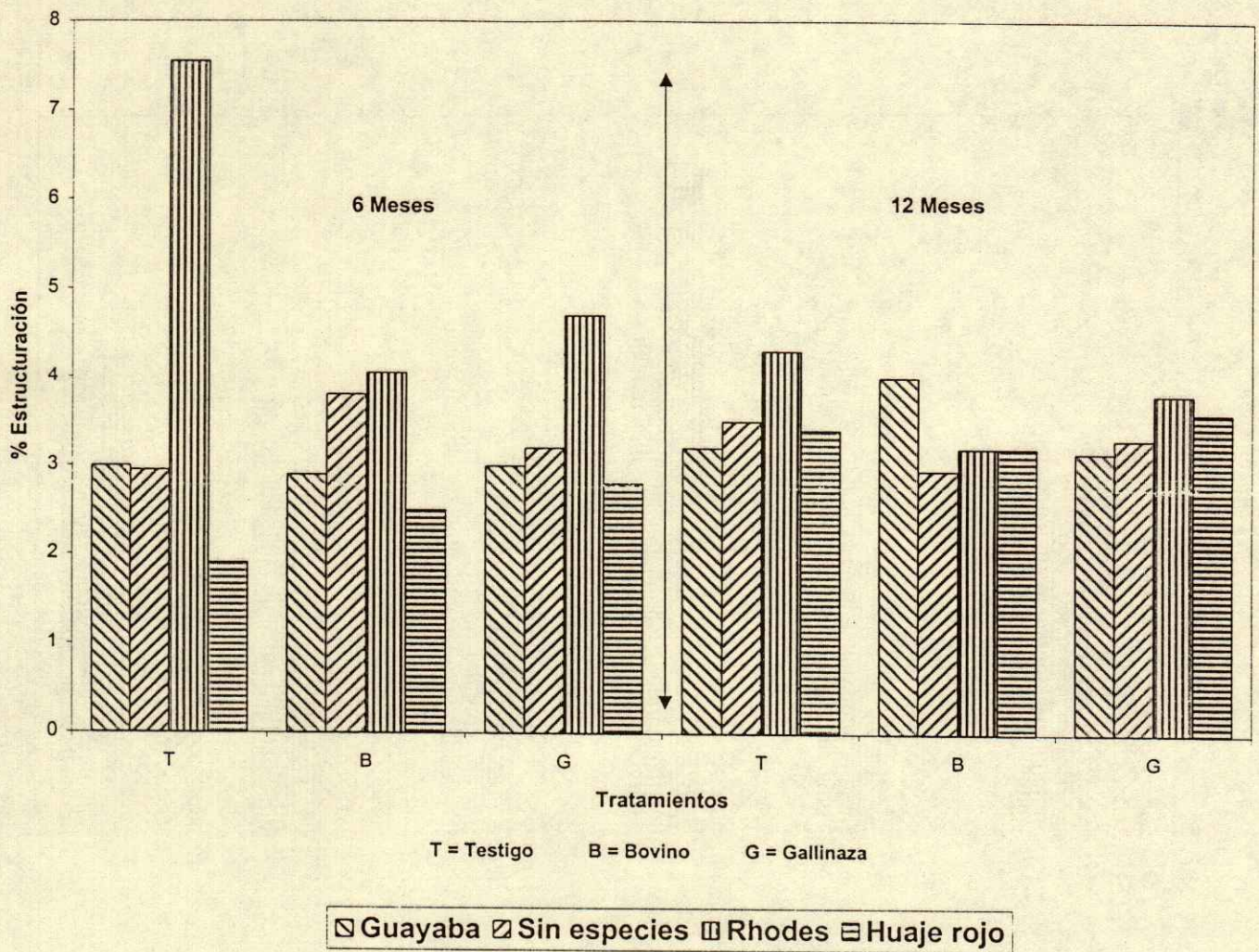


Figura 1. Coeficiente de estructuración en el tepetate blanco.

CONCLUSIONES

- Con el pasto Rhodes se obtuvieron los porcentajes más altos de agregación en seco y en húmedo.
- Los porcentajes mayores de agregación en seco se obtuvieron en el intervalo de 7.0 a 10.0 mm: con guayaba, en el TB, y con huaje rojo y pasto Rhodes, en el TA.
- La macroestructuración en los dos tepetates estuvo más influida por las especies vegetales que por los abonos orgánicos.
- El efecto combinado de especies vegetales y abonos orgánicos favoreció la estabilidad en húmedo de los agregados de 2.0 a 5.0 mm y menores que 1.0 mm.
- Los abonos orgánicos incrementaron la estabilidad en húmedo de los agregados menores que 0.25 mm.

- En la agregación en seco, los abonos orgánicos influyeron en los intervalos de 7.0 a 12.0 y de 0.25 a 1.0 mm.
- Los tratamientos sin plantas y sin abonos orgánicos, presentaron porcentajes de agregados estables en húmedo, iguales o mayores que los obtenidos con los abonos.
- La mayor estabilidad en húmedo se obtuvo en los agregados mayores que 5.0 mm.
- El TB presentó mayor coeficiente de estabilidad estructural.
- En los tepetates estudiados, coeficientes de dispersión altos no correspondieron a coeficientes de estabilidad estructural bajos al nivel de microagregación.
- Los agregados mayores que 7 mm fueron los más estables en húmedo y seco por lo que constituyen un

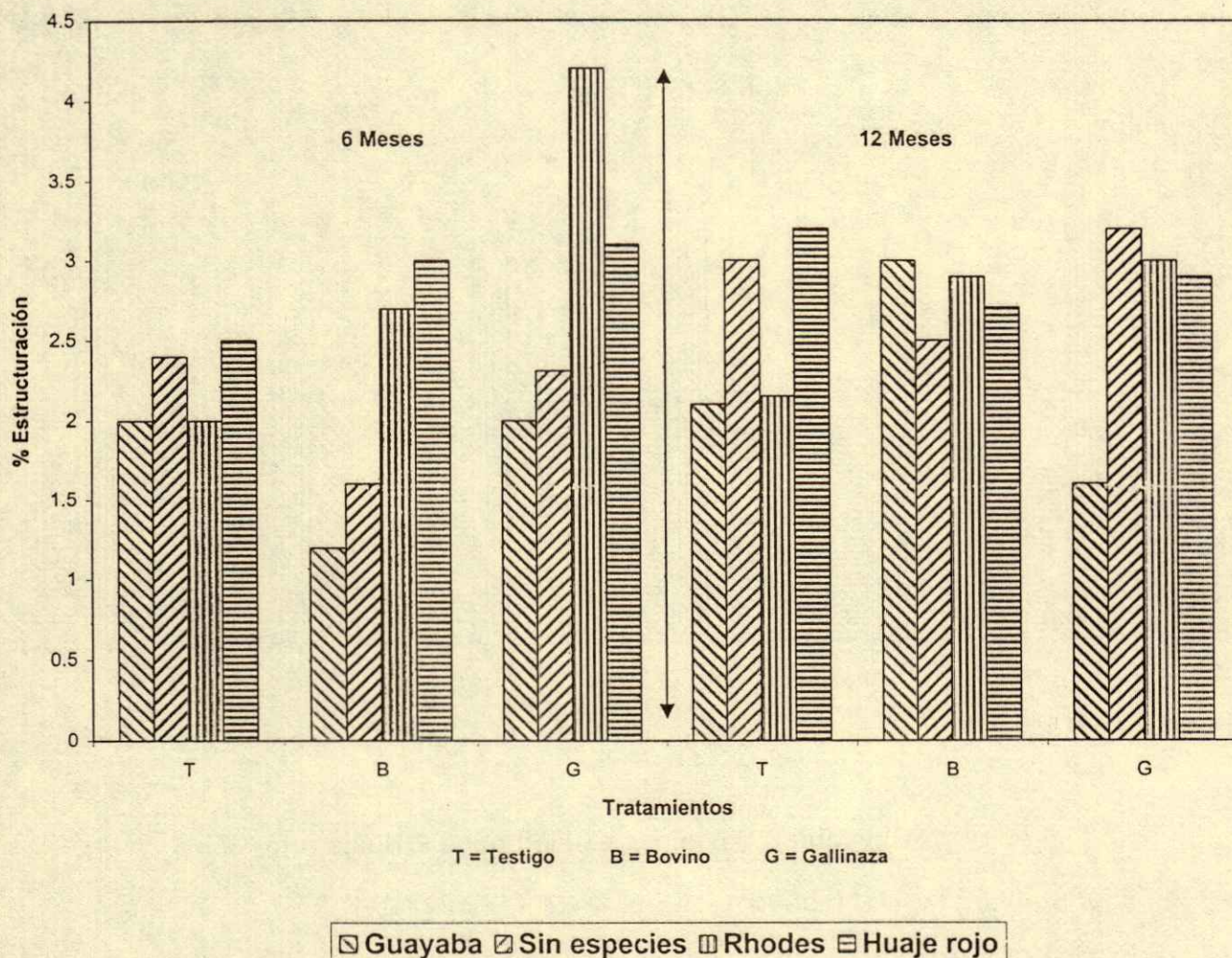


Figura 2. Coeficiente de estructuración en el tepetate amarillo.

tamaño óptimo en la fragmentación de capas endurecidas reduciendo los costos de labranza.

- El efecto combinado de la materia orgánica y de las especies vegetales favorece la estructuración del tepetate, con lo que se promueve la habilitación de terrenos afectados con capas endurecidas.

AGRADECIMIENTOS

Del Colegio de Postgraduados, Montecillo, estado de México, a los Doctores José Luis Oropeza-Mota y Antonio Trinidad-Santos por la revisión crítica del manuscrito. Asimismo, del Instituto de Geología de la UNAM al Doctor Jorge E. Gama-Castro.

LITERATURA CITADA

- Arias R., H. 1992. Rehabilitación de tepetates: Una alternativa para la producción agropecuaria y forestal. *Terra* 10 (Num. esp.): 309-317.
- Bathke, G.R., D.K. Cassel, W.L. Eargrove y P.M. Porter. 1992. Modification of soil physical properties and root growth response. *Soil Sci.* 154: 316-329.
- Beare, M.H., P.F. Hendrix y D.C. Coleman. 1994. Water-stable aggregates and organic matter fractions in conventional- and no-tillage soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 58: 777-786.
- Camargo, R. y E.I.G. Acosta. 1987. Roturación y trituración de tepetate en el Valle del Mezquital, su efecto en la agricultura bajo condiciones de riego. pp. 143-155. *In: Uso y manejo de los tepetates para el desarrollo rural.* Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México.

- Chesworth, W. 1977. Weathering stages of the common igneous rocks, index minerals and mineral assemblages at the surface of the Earth. *J. Soil Sci.* 28: 490-497.
- Cruz-Cisneros, R., D. Flores-Román y S. Sánchez-Colón. 1994. Forage production with non-conventional species in shallow, stony soils. Effect of fertilization and cutting on yield and raw protein content of three leguminous species. *An. Esc. Nac. Cienc. Biol.* 38:17-36.
- Day, P.R. 1965. Particle fractionation and particle-size analysis. pp. 545-567. *In*: C.A. Black (ed.). *Methods of soil analysis. Part 1. Physical and mineralogical, including statistics of measurement and sampling.* American Society of Agronomy. Madison, WI.
- Dexter, A.R. 1976. Internal structure of tilled soil. *J. Soil Sci.* 27: 267-278.
- Dinel, H., G.R. Mehuys y M. Lévesque. 1991. Influence of humic and fibric materials on the aggregation and aggregate stability of a lacustrine silty clay. *Soil Sci.* 151: 146-158.
- Duchaufour, P. 1984. *Edafología. Parte 1, Edafogénesis y clasificación.* Masson. Barcelona.
- Etchevers B., J., L. Cruz H., J. Mares A. y C. Zebrowski. 1992. Fertilidad de los tepetates. I. Fertilidad actual y potencial de los tepetates de la vertiente occidental de la Sierra Nevada (México). *Terra 10* (Num. esp.): 379-384.
- Hillel, D. 1982. *Introduction to soil physics.* Academic Press. San Diego, California.
- Jackson, M.L. 1970. *Análisis químico de suelos.* 2a. ed. Trad. al español por Omega. Barcelona, España.
- Kaúrichev, I.S., N.P. Panov, M.U. Stratonóvich e I.P. Grechin. 1980. *Prácticas de edafología.* Mir. Moscú.
- Kononova, M.M. 1982. *Materia orgánica del suelo, su naturaleza, propiedades y métodos de investigación.* Trad. al castellano por Enriqueta Burdas. OIKOS-TAU. Barcelona, España.
- Lal, R. y D.J. Greenland. 1979. *Soil physical properties and crop production in the tropics.* John Wiley. New York.
- Márquez R., A., C. Zebrowski y H. Navarro G. 1992. Alternativas agronómicas para la recuperación de tepetates. *Terra 10* (Num. esp): 465-473.
- Mehra, O.P. y M.L. Jackson. 1960. Iron oxide removal from soils and clays by a dithionite-citrate system buffered with sodium bicarbonate. 7th Nat. Conf. Clay Minerals p. 317-327.
- Narro F., E. 1994. *Física de suelos con enfoque agrícola.* Trillas. México.
- Nava R., V., J. Sánchez, V. Olvera O. y R. Leyte A. 1992. Rehabilitación del tepetate mediante el manejo tradicional, en Tlaxcala, México. *Terra 10* (Num. esp): 460-464.
- Oleschko, K., H. Arias R. y F. Cabrera C. 1992. Los índices de la estabilidad de la estructura del suelo (ejemplo de dos suelos de México). *Terra 10*: 151-165.
- Perfect, E. y B.D. Key. 1990. Relations between aggregate stability and organic components for a silt loam soil. *Can. J. Soil Sci.* 70: 731-735.
- Soil Survey Staff. 1984. *Soil Survey laboratory methods and procedures for collecting soil samples.* Soil Survey Investigation Report 1. Soil Conservation Service. Washington, DC.
- Thiry, M. y G. Millot. 1987. Mineralogical forms of silica and their sequence of formation in silcretes. *J. Sediment. Petrol.* 57: 343-352.
- Tisdall, J.M. 1994. Possible role of soil microorganisms in aggregation in soils. *Plant Soil* 159: 115-121.
- Utomo, W.H. y A.R. Dexter. 1982. Changes in soil aggregate water stability induced by wetting and drying cycles in un-saturated soil. *J. Soil Sci.* 33: 623-637.
- Velázquez-Rodríguez, A., D. Flores-Román y O. Acevedo-Sandoval. 2000. Formación de agregados en tepetate por influencia de especies vegetales. *Agrociencia.* México (en prensa).

EFECTO DE LOS FACTORES CONTROLABLES DE LA PRODUCCION SOBRE EL RENDIMIENTO Y LA PANZA BLANCA DEL GRANO EN TRIGO DURO

Effect of Controllable Production Factors on Grain Yield and Yellow Belly in Durum Wheat

Ernesto Solís Moya¹ y José Gonzalo Díaz de León Tobías¹

RESUMEN

En el Campo Experimental El Bajío se establecieron dos trabajos cuyos objetivos fueron determinar la influencia de la variedad, dosis de nitrógeno, fecha de siembra y calendarios de riego, sobre el rendimiento y el carácter panza blanca en grano del trigo cristalino (*Triticum turgidum* L. var. *Durum*). Se evaluaron los genotipos: Altar C84, Aconchi C89, Mexicali C75 y la Línea 1, experimental. Estos genotipos se establecieron en dos fechas de siembra: 1 de diciembre y 15 de enero; tres calendarios de riego: 0-45-75-100, 0-45-75 y 0-55 días después de la siembra; y tres dosis de N: 00, 120 y 240 kg ha⁻¹. Se encontró que el mayor rendimiento (5652 kg ha⁻¹) se obtuvo en la siembra del 1 diciembre. En esta fecha de siembra con tres riegos, se obtuvo un rendimiento más alto que con cuatro riegos en la siembra del 15 de enero. En la siembra del 15 de enero se obtuvo rendimiento de grano muy similar (5053 y 5126 kg ha⁻¹) con las dosis de 120 y 240 kg ha⁻¹ de N. Los factores que favorecieron la expresión de panza blanca del grano fueron la baja fertilización nitrogenada, el uso de variedades sensibles como Altar C84, la siembra en la primera quincena de diciembre y el calendario de cuatro riegos. El tratamiento sin fertilización nitrogenada presentó valores promedio excesivamente altos de panza blanca (69.7%).

Palabras clave: Trigo cristalino, deficiencia de proteína, fechas de siembra, dosis de nitrógeno, calendarios de riego.

¹ Campo Experimental Bajío-Instituto Nacional de Investigaciones Forestales y Agropecuarias. km 6 carr. Celaya-San Miguel de Allende, Apartado Postal 112, 38110 Celaya, Gto. Tel. 01 461 15431 y 15262.
(cebaj@cirpac.inifap.conacyt.mx)

Recibido: Diciembre de 2000. Aceptado: Agosto de 2001.
Publicado en Terra 19: 375-383.

SUMMARY

At El Bajío Experimental Station, two experiments were established to determine the effect of variety, nitrogen rate, sowing date and irrigation schedule on yield and yellow belly grain in durum wheat (*Triticum turgidum* L. var. *Durum*). Four genotypes were evaluated: Altar C84, Aconchi C89, Mexicali C75, and the experimental Line 1. These genotypes were planted on two sowing dates: December 1st and January 15th; three irrigation schedules were studied: 0-45-75-100, 0-45-75, and 0-55 days after planting; and three N rates: 00, 120, and 240 kg ha⁻¹. It was found that the highest yield was obtained on the sowing date of December 1st. On this sowing date with the three irrigation schedules, higher yields were obtained than with four irrigation schedules on the sowing date of January 15th. Also on the same sowing date, grain yield was similar with 120 and 240 kg ha⁻¹ of N. The factors that favored the expression of grain yellow belly were the low N rate, the use of sensitive varieties like Altar C84, the sowing early December date and the irrigation schedule with four applications. The treatment without fertilizer presented excessively high values of yellow belly (69.7%).

Index words: Durum wheat, low protein, sowing dates, nitrogen doses, irrigation calendars.

INTRODUCCION

El trigo duro o cristalino (*Triticum turgidum* L. var. *Durum*) es la segunda especie en importancia de trigo que se cultiva en el mundo (Hanson *et al.*, 1982). Su principal uso es para la fabricación de pastas y macarrones. Hernández (1992) reportó que las variedades comerciales de trigo, sembradas en México, poseen un amplio rango de adaptación, alto potencial de rendimiento, resistencia a enfermedades y a condiciones limitadas de humedad. Sin embargo,

algunas veces, el grano cosechado no tiene la calidad requerida por la industria, debido a la presencia de un alto porcentaje del carácter llamado "panza blanca" del grano, lo cual no afecta el rendimiento, pero sí la calidad industrial del grano. Headden (1915) fue uno de los primeros investigadores en usar el término "panza blanca" para designar una condición del grano de trigo que presenta un aspecto moteado debido a manchas que varían de blanco a blanco amarillento de acuerdo con el color de las capas externas de la semilla. Estas manchas de aspecto almidonoso se presentan en algunas ocasiones en pequeñas áreas, pero pueden llegar a cubrir la mitad o toda la semilla. La apariencia de estas semillas está dada por una infinidad de grietas microscópicas dentro del endospermo; al observarse al microscopio semillas afectadas, presentan gránulos de almidón parcialmente sueltos y espacios entre ellos; en semillas normales estos espacios están ocupados por una matriz de proteína (Sharma *et al.*, 1983).

Roberts y Freeman (1908) señalaron, que las condiciones climáticas (lluvia principalmente) favorecen la presencia de este carácter, pero estudios posteriores (Roberts, 1919; Jones y Mitchell, 1926; Espericueta *et al.*, 1973; Robinson *et al.*, 1977) demostraron que las condiciones del suelo y, en principio, la disponibilidad de nitrógeno (N) determinan la presencia de panza blanca en el grano de trigo.

Gianibelli *et al.* (1991) observaron que la aplicación de N disminuye el porcentaje de panza blanca de 80 hasta 7%, lo cual depende de la dosis y la fecha de aplicación. Asimismo, Ryan *et al.* (1997) indicaron que, aunque existen diferencias genéticas entre variedades de trigo duro en relación con el carácter panza blanca, en todas se reduce este factor al incrementar la dosis de N. Nachit y Asbati (1987) señalaron que los genotipos de trigo duro pueden diferenciarse en su expresión del carácter panza blanca al evaluarse en ambientes sin la aplicación de N. Estos mismos autores indicaron que, cuando los genotipos son evaluados en condiciones de sequía y con alta dosis de N, las diferencias entre genotipos son pequeñas; además, destacaron que, al aumentar los riegos (de 240 a 450 mm) y la dosis de N (de 30 a 120 kg ha⁻¹), disminuye la incidencia de panza blanca. Mahdi *et al.* (1996) demostraron que las fechas tempranas (1 y 15 de noviembre) produjeron un mayor número de

semillas con panza blanca que las fechas tardías (15 y 30 de diciembre).

La relación entre la panza blanca con el rendimiento de grano depende de la variedad, ya que, en algunos casos, se ha encontrado asociación positiva entre estos caracteres (Ramig y Olson, 1969); en otros se han observado resultados opuestos (Raath *et al.*, 1995).

Espericueta *et al.* (1973) indicaron que entre los factores de calidad afectados por la presencia de panza blanca está el porcentaje de proteína del grano, el cual se reduce entre 2 y 4%, dependiendo de la variedad y el grado de incidencia. También señalaron que existe una relación negativa entre el porcentaje de panza blanca y el contenido de pigmentos de caroteno y color de macarrón, esto es, un mayor porcentaje de panza blanca en el grano dará lugar a pastas de menor calidad. Asimismo, Peña¹ (1992) (comunicación personal) indicó que las variedades que presentan mayor incidencia de panza blanca tienen menor rendimiento de semolina.

Dado que en la región del Bajío, México, no se han bien determinado las variables de manejo que inciden sobre la panza blanca del grano del trigo duro, se desarrolló el presente estudio cuyo objetivo fue determinar el efecto de la fecha de siembra, la fertilización nitrogenada y el número de riegos sobre el rendimiento y la presencia de panza blanca en el grano de cuatro genotipos de trigo duro.

MATERIALES Y METODOS

En el Campo Experimental Bajío se evaluaron, durante el ciclo otoño-invierno 1992-1993, cuatro genotipos de trigo cristalino (*Triticum turgidum* L. var. *Durum*), entre ellos las variedades liberadas por el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales y Agropecuarias (INIFAP): Mexicali C75, Altar C84 y Aconchi C89 y una línea experimental susceptible a panza blanca del grano (Línea 1). Estos materiales se establecieron en dos fechas de siembra (FS), tres calendarios de riegos (CR) y tres dosis de N (DN) (Cuadro 1). La dosis de P para todos los tratamientos fue de 46 kg ha⁻¹ de P₂O₅. La dosis de N de cada tratamiento se aplicó en dos épocas: 50% en la siembra

¹ Encargado del Programa de Calidad de trigos harineros y duros del Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT).

Cuadro 1. Descripción de los factores evaluados en el estudio del carácter panza blanca en trigo duro (*Triticum turgidum* L. var. *Durum*).

Fechas de siembra	Calendarios de riegos	Dosis de fertilización	Variedades
	días	kg ha ⁻¹	
1 diciembre	0, 55	00-46-00	Mexicali C75
15 enero	0, 45, 75	120-46-00	Altar C84
	0, 45, 75, 100	240-46-00	Aconchi C89
			Línea 1

y 50% en el primer riego de auxilio. Los tratamientos se arreglaron en un diseño de parcelas subdivididas, para la parcela grande fueron las fechas de siembra; para la parcela mediana, los calendarios de riego; y para la parcela chica, la combinación de variedades y dosis de N. La parcela chica, a su vez, se analizó como un factorial 3 x 4 para separar la variación debida a variedades y dosis de N, así como la interacción entre estos factores. Las interacciones significativas de primer, segundo o tercer orden se descompusieron en sus efectos simples, a través de contrastes no ortogonales, con el procedimiento sugerido por Steel y Torrie (1986). Se hicieron correlaciones entre los factores rendimiento y panza blanca del grano para determinar la asociación entre estas variables.

La parcela experimental estuvo constituida por cuatro surcos de 3 m de largo y 0.3 m de ancho. Las parcelas se separaron en sus extremos por calles de 1 m de ancho.

Las variables estudiadas fueron rendimiento de grano y porcentaje de panza blanca.

RESULTADOS Y DISCUSION

Efecto de los Tratamientos sobre el Rendimiento de Grano

Los resultados del análisis de varianza para rendimiento de grano mostraron diferencias altamente significativas para fechas de siembra, calendarios de riegos, variedades y dosis de fertilización nitrogenada y para las interacciones entre los factores principales, excepto para la interacción fecha de siembra por variedad (Cuadro 2).

Las comparaciones de medias de los factores principales indican que, en la fecha de siembra del 1 de diciembre, se obtuvo el rendimiento de grano más alto (Cuadro 3); asimismo, con el calendario de cuatro

Cuadro 2. Cuadrados medios y significancia estadística para las variables rendimiento y panza blanca del grano.

Fuente de variación [†]	Grados de libertad	Cuadrados medios	
		Rendimiento	Panza blanca
		%	
Fechas de siembra	1	82112539**	26235**
Número de riegos	2	91372346**	4953**
Variedades	3	10462572**	573**
Dosis de nitrógeno	2	97082363**	96683**
FS x R	2	16775015**	3106**
FS x V	3	134057	456**
FS x N	2	2222421**	2152**
R x N	4	2334309**	2016**

** = diferencia significativa al 0.01; CV para rendimiento = 8.9%; CV para panza blanca = 23.5%.

[†] FS = fechas de siembra; R = número de riegos; V = variedades; N = dosis de nitrógeno.

riegos (el de siembra y tres auxilios) se obtuvo un rendimiento significativamente más alto que con el de dos y tres riegos; la variedad Altar C84 superó significativamente a Aconchi C89 y la Línea 1. El tratamiento de 240 kg de N ha⁻¹ superó significativamente al de 0 y 120 kg de N ha⁻¹. Los factores de manejo que más impactaron el rendimiento de grano fueron el número de riegos y la dosis de N, con diferencias de 1945 kg ha⁻¹ entre los calendarios de dos y cuatro riegos y de 1857 kg ha⁻¹ entre las dosis de 0 y 240 kg ha⁻¹ de N.

En la Figura 1 se observa que la respuesta en rendimiento de grano entre los tratamientos con tres y cuatro riegos no es de magnitud similar cuando cambia la fecha de siembra. Al realizar contrastes entre estos tratamientos, se detectaron diferencias altamente significativas en la siembra del 1 de diciembre ($P < 0.01$); en cambio, en la fecha de siembra del 15 de enero, las diferencias encontradas no fueron significativas ($P > 0.05$). Estos resultados indican la conveniencia de aplicar cuatro riegos en fechas tempranas y que, cuando la siembra es tardía, con tres riegos se alcanza un rendimiento igual estadísticamente que el obtenido con cuatro riegos. Con tres riegos y siembra el 1 de diciembre, se obtiene un rendimiento estadísticamente más alto ($P < 0.01$) que al aplicar cuatro riegos y sembrar el 15 de enero.

El rendimiento bajo, obtenido en la siembra del 15 de enero, se atribuye al efecto que tiene la alta temperatura en la duración del ciclo del trigo.

Cuadro 3. Medias de fechas de siembra, calendarios de riego, variedades y dosis de nitrógeno sobre el rendimiento y panza blanca del grano.

	Rendimiento kg ha ⁻¹	Panza blanca %
Fecha de siembra		
1 diciembre	5652 a	46 a
15 enero	4585 b	27 b
	DMS = 284.5	DMS = 8.36
Calendario de riego		
4 riegos	6047 a	42 a
3 riegos	5206 b	39 a
2 riegos	4102 c	28 b
	DMS = 320.4	DMS = 5.01
Variedades		
Altar C84	5459 a	39 a
Mexicali C75	5295 ab	37 a
Aconchi C89	5137 b	33 b
Línea 1	4581 c	38 a
	DMS = 197.3	DMS = 3.7
Dosis kg ha ⁻¹		
240	5823 a	7 c
120	5564 b	33 b
00	3966 c	70 a
	DMS = 155.7	DMS = 2.9

DMS = diferencia mínima significativa. Tukey (0.05).

Villalpando² (1982) (comunicación personal) señaló que la temperatura afecta el desarrollo de las plantas a través de su influencia sobre la velocidad de los procesos metabólicos. Temperaturas bajas retardan el desarrollo, mientras que temperaturas altas (hasta un cierto límite) lo aceleran y acortan el ciclo de las plantas. Van Keulen y Seligman (1987) señalaron que, durante el periodo de llenado de grano, altas temperaturas aceleran la senescencia de la hoja, lo cual reduce la duración del periodo de llenado de grano. Bindraban (1997) observó que una diferencia promedio de 2.4 °C entre fechas de siembra, para el periodo de llenado de grano, reduce esta etapa en 10%, mientras que la tasa de llenado de grano se incrementa en 5 a 6%, esto da como resultado una disminución hasta de 20% en el peso del grano. En el Bajío, Urbina y Solís (1991) obtuvieron un acortamiento del ciclo biológico y bajo rendimiento en tres variedades de trigo, como consecuencia de la siembra tardía (15 de enero).

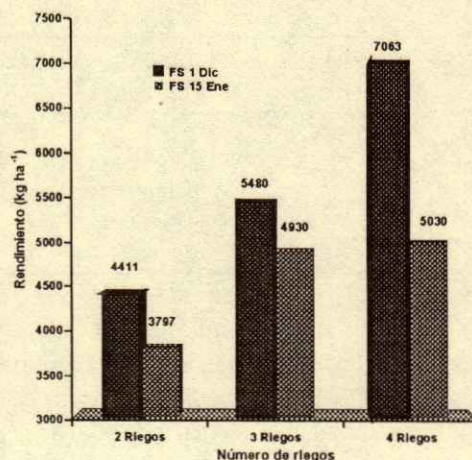


Figura 1. Interacción entre fechas de siembra y riegos con la variable rendimiento de grano.

La Figura 2 contiene la interacción entre los factores fechas de siembra y dosis de N y su efecto sobre el rendimiento de grano. La descomposición de los grados de libertad de esta interacción indicó que, en la siembra del 1 de diciembre, se obtienen diferencias altamente significativas ($P < 0.01$) entre las dosis de 120 y 240 kg ha⁻¹ de N. En cambio, en la siembra tardía (15 de enero), no se detectaron diferencias significativas entre estos tratamientos de fertilización nitrogenada. Con la dosis de 120 kg ha⁻¹ de N se obtuvo un rendimiento más alto ($P < 0.01$) que el registrado en el tratamiento sin N en ambas fechas de

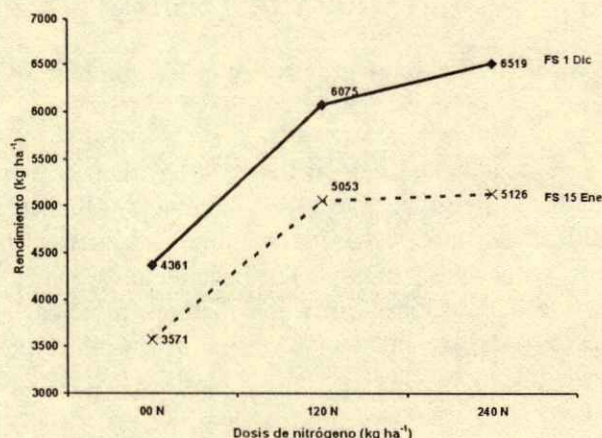


Figura 2. Interacción entre fechas de siembra y dosis de nitrógeno con la variable rendimiento de grano.

² Instructor del curso de orientación para aspirantes a investigadores del INIP, INIF e INIA (Tronco común) en 1982.

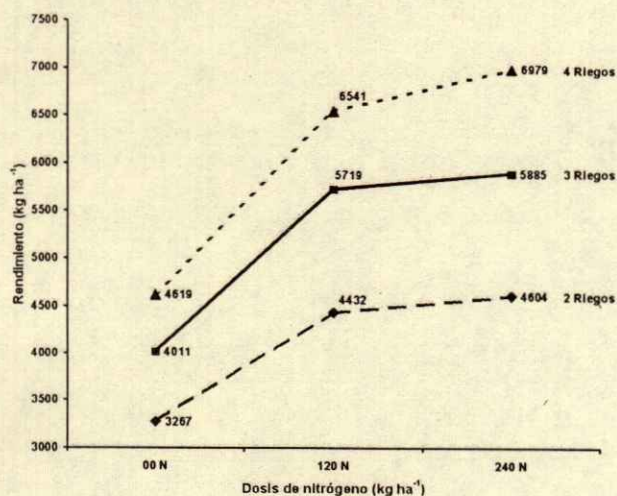


Figura 3. Interacción entre el número de riegos y las dosis de nitrógeno con la variable rendimiento de grano.

siembra. En la siembra del 1 de diciembre con la dosis de 120 kg ha⁻¹ de N, se obtuvo un rendimiento más alto ($P < 0.01$) que el alcanzado con la dosis de 240 kg ha⁻¹ de N en la siembra del 15 de enero.

La interacción entre los factores dosis de N y número de riegos resultó altamente significativa; la Figura 3 muestra las diferencias en las respuestas de los calendarios de riegos con las dosis de N promediando fechas de siembra. A este nivel, no hubo diferencias significativas entre las dosis de 120 y 240 kg de N ha⁻¹. Por ello, se analizaron los efectos simples de dichos tratamientos dentro de cada fecha de siembra (Cuadro 4). Los resultados de este análisis mostraron que existen diferencias altamente significativas ($P < 0.01$) entre las dosis de 120 y 240 kg ha⁻¹ de N en la primera fecha de siembra con los calendarios de dos y cuatro riegos, pero no con el calendario de tres riegos. En cambio, para la segunda fecha de siembra no se detectaron diferencias

significativas entre estos tratamientos en los tres calendarios de riego evaluados, lo cual indica que, para esta fecha de siembra, 120 kg ha⁻¹ son suficientes para alcanzar el rendimiento más alto posible para este ambiente.

Efecto de los Tratamientos sobre la Incidencia de Panza Blanca del Grano

En el Cuadro 2, se presentan los cuadrados medios de los factores principales y las interacciones más relevantes del análisis de varianza con el factor panza blanca. En este caso, también se encontraron diferencias altamente significativas para los cuatro factores principales. Al realizar la prueba de comparación de medias (Cuadro 3), se encontró que la fecha de siembra influyó en la presencia de panza blanca del grano. La siembra de diciembre tuvo una mayor incidencia que la siembra de enero; esto se debe a que en la siembra de diciembre el rendimiento es mayor que en enero, lo cual produce un efecto de dilución del N contenido en el grano, propiciando la mayor presencia de panza blanca; estos resultados son congruentes con los obtenidos por Mahdi *et al.* (1996). En este mismo cuadro se observa que el número de riegos afectó el carácter panza blanca del grano, pero el efecto de la dosis de N fue mayor, ya que el tratamiento sin N registró un porcentaje promedio de panza blanca de 70 por sólo 7%, registrado por el tratamiento con 240 kg ha⁻¹. En el caso de variedades, las más sensibles a la incidencia de panza blanca fueron Altar C84 y la Línea 1 con porcentajes promedio de 39 y 38, respectivamente; Aconchi C89 fue la menos afectada y expresa un porcentaje de 33. Asimismo, considerando el porcentaje de panza blanca promedio de las variedades en los grados alto y bajo de los factores estudiados (FS, CR y DN), en el Cuadro 3 se observa que el tratamiento que diferenció en mayor

Cuadro 4. Descomposición de los grados de libertad por fecha de siembra de la interacción entre dosis de nitrógeno y calendarios de riego.

Comparación de tratamientos	Gl	Cuadrados medios	Diferencias entre tratamientos kg ha ⁻¹
Entre 120 y 240 [†] en la FS A con dos riegos	1	1106253.8**	372
Entre 120 y 240 en la FS B con dos riegos	1	5523.0	26
Entre 120 y 240 en la FS A con tres riegos	1	508384.8	252
Entre 120 y 240 en la FS B con tres riegos	1	51448.3	80
Entre 120 y 240 en la FS A con cuatro riegos	1	4029463.6**	710
Entre 120 y 240 en la FS B con cuatro riegos	1	222244.4	167

[†] kg ha⁻¹ de nitrógeno; ** = significativo al 0.01 de probabilidad; FS = fecha de siembra; A = 1 de dic.; B = 15 de enero.

proporción el promedio de las variedades en la expresión del carácter panza blanca, fue el de la menor dosis de N, como lo reportaron Nachit y Asbati (1987).

En la Figura 4 se graficó la interacción entre fecha de siembra y número de riegos. En la primera FS, se encontraron diferencias altamente significativas ($P < 0.01$) con la variable panza blanca entre los tratamientos de dos y tres, y entre los de tres y cuatro riegos. En cambio, para la segunda FS, se detectaron diferencias significativas ($P < 0.01$) entre los calendarios de dos y tres riegos, mas no las hubo entre los de tres y cuatro riegos. El mínimo efecto de los tratamientos de riego sobre la expresión del carácter panza blanca en la fecha de enero se debe a que las altas temperaturas limitan el rendimiento de la planta y no se presenta el efecto de dilución de N observado en las fechas de principios de diciembre. Aplicar tres riegos y sembrar el 1 de diciembre produce un rendimiento más alto (Figura 1) que aplicar cuatro riegos con siembra el 15 de enero; pero, también, presenta valores de panza blanca más altos ($P < 0.01$).

Los genotipos presentaron diferente respuesta a la panza blanca del grano al variar la fecha de siembra (Figura 5); Mexicali C75, Aconchi C89 y la Línea 1 expresaron menor porcentaje de panza blanca ($P < 0.01$) que Altar C84 en la primera FS; mientras que en la segunda FS, Mexicali C75 produjo el mayor porcentaje de panza blanca, igual estadísticamente al

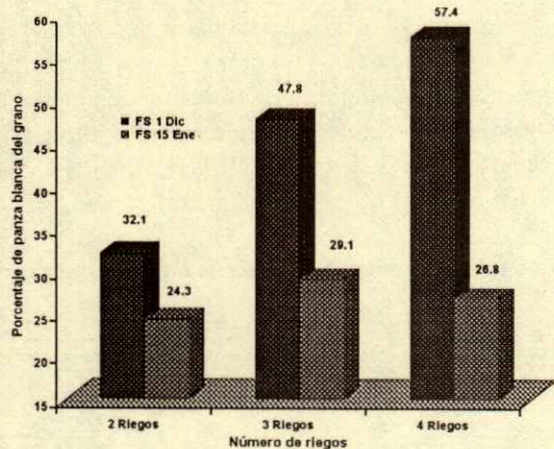


Figura 4. Interacción entre fechas de siembra y riegos con la variable porcentaje de panza blanca.

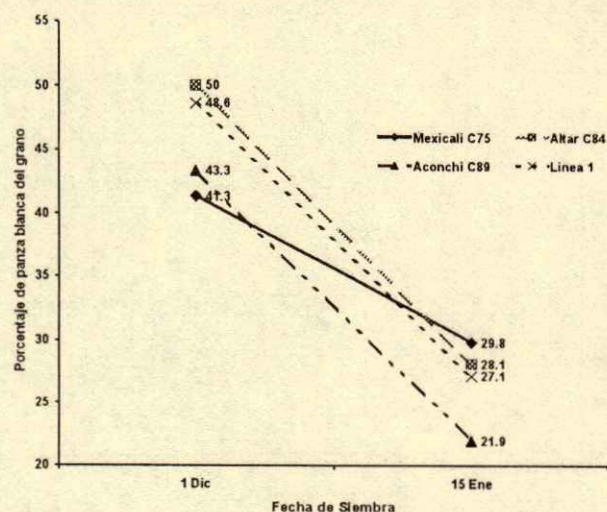


Figura 5. Interacción entre fechas de siembra y variedades con la variable porcentaje de panza blanca.

obtenido por las variedades Altar C84 y la Línea 1 y superior ($P < 0.01$) al registrado por la variedad Aconchi C89. Dichos resultados ponen en evidencia que de los genotipos evaluados, Aconchi C89 constituye una mejor alternativa para el productor, ya que combina rendimientos intermedios con menores grados de panza blanca que la variedad Altar C84 ($P < 0.01$).

En la Figura 6, se observa que en ambas fechas de siembra el porcentaje de panza blanca resulto excesivamente alto con el tratamiento sin N. Con la dosis de 120 kg de N ha⁻¹ se obtuvieron porcentajes de panza blanca del grano muy altos en la FS del 1 de diciembre; sin embargo, con esta dosis se obtuvieron valores (18.8%) aceptados por la industria en la siembra del 15 de enero. Con la dosis de 240 kg de N ha⁻¹ se obtuvieron los rendimientos más altos (Figura 2) y los porcentajes de panza blanca más bajos (Figura 6); sin embargo, con este tratamiento de N no se alcanzaron en la siembra del 1 de diciembre los grados de panza blanca que la industria premia por calidad ($< 9\%$)³. La interacción entre FS y dosis de N resultó altamente significativa (Cuadro 2). Al analizar los efectos simples de esta interacción de primer orden, no se detectó la no independencia de los factores, ya

³ OPISEC S.A de C.V. es la principal empresa comercializadora de trigo cristalino en el Bajío y premia con 15 pesos MN la tonelada de grano con porcentajes de 9 ó menores. Esta misma empresa rechaza el grano con más de 25% de PB.

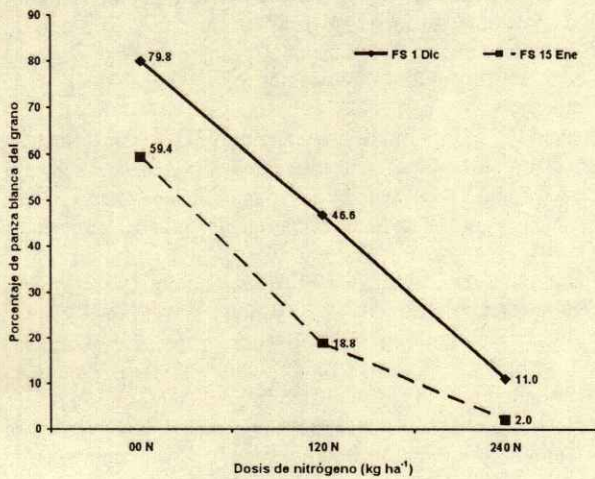


Figura 6. Interacción entre fechas de siembra y dosis de nitrógeno con la variable porcentaje de panza blanca.

que existen diferencias altamente significativas entre las tres dosis de N en las dos fechas de siembra. Resultados similares se obtuvieron con el análisis de la interacción de segundo orden entre los factores FS, calendarios de riego y dosis de N. Sin embargo, el cambio de magnitud de las respuestas entre la dosis de 120 y 240 kg ha⁻¹ de N en la segunda FS (Figura 6) indica que los genotipos tienen respuestas diferentes en estos tratamientos de fertilización nitrogenada al variar el número de riegos. El análisis de la interacción de tercer orden en la segunda fecha de siembra mostró que con dos riego no existen diferencias significativas entre las dosis de 120 y 240 kg ha⁻¹ de N con la siembra de los genotipos Altar C84, Aconchi C89 y la Línea 1, pero sí con la siembra de la variedad Mexicali C75 ($P < 0.01$). En esta fecha de siembra con el calendario de tres riegos, la dosis de 120 kg ha⁻¹ de N produjo más panza blanca del grano que la dosis de 240 ($P < 0.01$), con cualquiera de las cuatro variedades evaluadas. Con cuatro riegos (siembra y tres auxilios), las variedades Mexicali C75, Altar C84 y la Línea 1 produjeron más panza blanca del grano con la dosis de 120 que con la de 240 kg ha⁻¹ de N ($P < 0.01$). Mientras que, con la variedad Aconchi C89 no hubo diferencias significativas entre estos tratamientos.

La interacción entre número de riegos y dosis de N se presenta en la Figura 7. El análisis de los efectos simples de estos factores puso en evidencia que con la dosis de 240 kg ha⁻¹ de N no hubo diferencias

significativas en la manifestación de panza blanca del grano con los calendarios de dos y tres riegos, pero sí los hubo con las dosis de 0 y 120 kg ha⁻¹ de N. Asimismo, cuando no se aplicó N se obtuvieron porcentajes de panza blanca iguales estadísticamente con los calendarios de tres y cuatro riegos; en cambio, con las dosis de 120 y 240 kg ha⁻¹ de N los genotipos produjeron más panza blanca con cuatro riegos que con tres ($P < 0.01$). Cuando se aplicaron dos riegos, 120 kg ha⁻¹ de N son suficientes para obtener grados de panza blanca del grano inferiores a 20%, pero con tres o cuatro riegos es necesario aplicar 240 unidades para obtener grano con bajos porcentajes de panza blanca.

Los resultados registrados en este experimento indican que el factor que más influyó en el rendimiento de grano fue el número de riegos, obteniéndose una diferencia de 1945 kg ha⁻¹ entre los tratamientos de dos y cuatro riegos. Asimismo, la dosis de N produjo efectos similares (1857 kg ha⁻¹) entre dosis contrastantes (00 y 240 kg ha⁻¹); sin embargo, las diferencias observadas para la variable panza blanca del grano, entre los tratamientos de mayor y menor grado de los factores número de riegos y dosis de fertilización, hacen ver la importancia del N en la producción de grano de calidad. Esto confirma las observaciones de Sharma *et al.* (1983), quienes mencionaron que, en condiciones ambientales de alto rendimiento y baja disponibilidad de N, se producen en el grano espacios ocupados por almidón en lugar de proteína, lo cual hace presente la panza blanca en el grano de trigo.

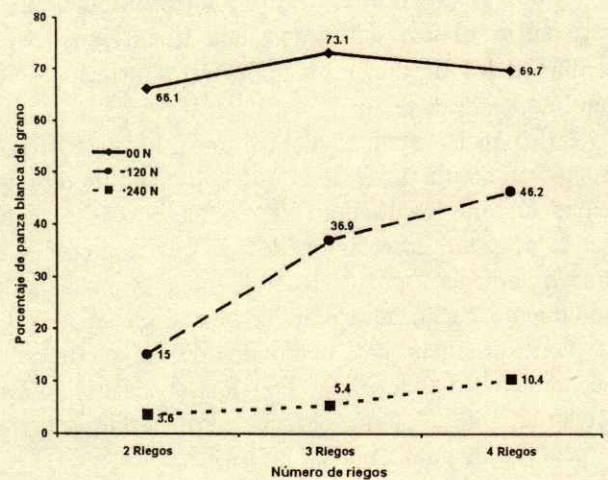


Figura 7. Interacción entre número de riegos y dosis de nitrógeno con la variable porcentaje de panza blanca.

Entre variedades existe un comportamiento diferencial, tanto en rendimiento de grano, como en la sensibilidad a la manifestación del carácter panza blanca, cuya expresión depende fuertemente del manejo agronómico del cultivo. Las siembras de enero en el área Bajío son menos productivas y, quizás por este hecho, menos sensibles al problema de panza blanca, ya que la planta, al tener menor producción de biomasa, dispone de una cantidad mayor de N para satisfacer los requerimientos de la semilla. No se encontró asociación entre el rendimiento y la panza blanca del grano ($r > 0.05$), lo cual indica que por selección se pueden obtener genotipos de alto rendimiento y bajos grados de panza blanca.

CONCLUSIONES

La interacción entre fechas de siembra y número de riegos indicó que se obtiene un rendimiento más alto con cuatro que con tres riegos en las siembras del 1 de diciembre, pero no así en la siembra del 15 de enero. En la fecha tardía se obtiene un rendimiento más bajo con cuatro riegos que con tres en las siembras del 1 de diciembre.

Las interacciones entre fecha de siembra y dosis de N revelaron que 240 kg de N ha⁻¹ producen un rendimiento más alto que la dosis de 120 en la siembra del 1 de diciembre, pero no hay diferencias estadísticas en la siembra del 15 de enero entre estos tratamientos. En cambio, con el carácter panza blanca del grano sí se encontraron diferencias entre estos tratamientos en ambas fechas de siembra.

Cuatro riegos producen un rendimiento más alto y más panza blanca del grano que tres riegos en la siembra del 1 de diciembre, pero no ocurre así en la siembra del 15 de enero.

La panza blanca del grano mostró mayor asociación con la dosis de N que con cualquiera de los demás factores evaluados. El rendimiento y la panza blanca no están correlacionados, lo cual indica que se pueden obtener, por selección, genotipos de alto rendimiento y bajo porcentaje de panza blanca.

Todos los genotipos evaluados deben sembrarse el 1 de diciembre y fertilizar con una dosis mayor que 240 kg ha⁻¹ de N para obtener altos rendimientos y porcentajes de panza blanca inferiores a 10%.

LITERATURA CITADA

- Bindraban, P.S. 1997. Bridging the gap between plant physiology and breeding. Identifying traits to increase wheat yield potential using systems approaches. Thesis Landbouwniversiteit Wageningen. Wageningen, The Netherlands.
- Espéricueta R., T., J. Ortiz C. y A.A. Amaya C. 1973. Influencia de distintos niveles de fertilizantes nitrogenados sobre el carácter Panza Blanca de (*Triticum durum*_Desf.) y sus relaciones con la calidad industrial del grano. *Agrociencia* 11: 105-116.
- Gianibelli, M.C., C. Arango y S.J. Sarandon. 1991. Protein composition of vitreous and yellow berry bread wheat: Influence of nitrogen fertilization. pp. 765-772. *In*: W. Bushuk y R. Tkachuk (eds.). *Gluten proteins*. American Association of Cereal Chemists. St. Paul, MN.
- Hanson, H., N.E. Borlaug y R.G. Anderson. 1982. Trigo en el tercer mundo. Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT). El Batán, México.
- Headden, W.P. 1915. Yellow berry in wheat, its cause and prevention. *Colo. Agr. Exp. Sta. Bul.* 205: 38.
- Hernández S., A. 1992. Avance en el mejoramiento genético del trigo en México. 567 p. *In*: Memoria de la 1a Conferencia Nacional sobre la Producción de Trigo en México. Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos, Instituto Nacional de Investigaciones Forestales y Agropecuarias, Centro de Investigación Regional del Noroeste. Ciudad Obregón, Sonora, México.
- Jones, J.S. y G.A. Mitchell. 1926. The cause and control of yellow berry in Turkey wheat grown under dry-farming conditions. *J. Agron. Res.* 33: 281-292.
- Mahdi, L., C.J. Bell y J. Ryan. 1996. Non-vitreousness or "Yellow berry" in durum wheat as affected by both depth and date of planting. *Cereal Res. Comm.* 24: 347-352.
- Nachit, M.M. y A. Asbati. 1987. Testing for vitreous kernels in durum wheat at ICARDA. *Rachis* 6: 48-49.
- Raath, N.C., G.A. Agenbag y O.T. De Villiers. 1995. Effect of yellow berry on yield and protein composition of spring wheat (*Triticum aestivum* L.). *South African J. Plant Soil* 12(4): 175-176.
- Ramig, R.E. y R.S. Olson. 1969. Yield-protein relationships in wheat grain, as affected by nitrogen and water. *Agric. J.* 61: 755-759.
- Roberts, H.F. 1919. Yellow berry in hard winter wheat. *J. Agron. Res.* 18: 155-169.
- Roberts, H.F. y G.F. Freeman. 1908. The yellow berry problem in Kansas hard winter wheats. *Kans. Agric. Exp. Sta. Bul.* 156.
- Robinson, F.F., D. Cudney y W.F. Lehman. 1977. Yellow berry of wheat linked to protein content. *California Agric.* 31(3): 16-18.
- Ryan, J., N. Nsarellah y M. Mergoum. 1997. Nitrogen fertilization of durum wheat cultivars in the rainfed area of Morocco: Biomass, yield and quality considerations. *Cereal Res. Comm.* 24: 347-352.

- Sharma, G.C., A.D. Paul y J.A. Bietz. 1983. Nitrogen fertilization effects and anatomical, protein and amino acid characteristics of yellow berry in triticale. *Crop Sci.* 23: 699-703.
- Steel, R.G.D. y J.H. Torrie. 1986. *Bioestadística: principios y procedimientos*. 2a ed. (primera en español). McGraw-Hill, México.
- Urbina A., R. y E. Solis M. 1991. Marte M86, Saturno S86 y Romuma M86, variedades de trigo harinero para El Bajío. Folleto técnico 8. Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales y Agropecuarias. Centro de Investigaciones Forestales y Agropecuarias de Guanajuato. Campo Experimental Bajío, Celaya, Gto., México.
- Van Keulen, H. y N.G. Seligman. 1987. Simulation of water use, nitrogen nutrition and growth of a spring wheat crop. *Simulation monographs*. Pudoc. Wageningen, The Netherlands.

USO DE INNOVACIONES EN EL GRUPO DE GANADEROS PARA LA VALIDACION Y TRANSFERENCIA DE TECNOLOGIA "JOACHIN", VERACRUZ, MEXICO

Use of Innovation in the "Joachín" Cattle Breeders' Association for the Validation and Transfer of Technology, Veracruz, Mexico

Guillermo Galindo González¹

RESUMEN

En mayo de 1998, se realizó una investigación en el estado de Veracruz, México, con el objetivo de evaluar un modelo para transferir innovaciones al medio rural y que se denomina: "Grupo de ganaderos para la validación y transferencia de tecnología (GGAVATT)"; para ello se seleccionó el GGAVATT Joachín, que se integró en 1989. Se consideraron tres estratos de ganaderos (I, los que actualmente participan en este GGAVATT; II, los que participaron; y III, los que nunca han participado) que se localizan en una región ganadera del Estado. Se seleccionaron 17 variables explicativas o predictivas (de tipo social y productivas) y una variable de respuesta (uso de innovaciones: Z); para su medición se aplicó un cuestionario. Los resultados mostraron que los estratos eran diferentes en cuanto a las siguientes variables: exposición a medios de comunicación (X_1), relación con agentes de cambio y extensionistas (X_5), relación con casas comerciales que distribuyen productos para el campo (X_6), motivación a la realización (X_{15}) y uso de innovaciones (Z). En el Estrato I, se determinó que la variable Z se relaciona con las variables: X_1 , años de educación formal (X_9) y años de ser ganadero (X_{13}); en el Estrato II, Z está correlacionada con: X_1 y grado de capacitación (X_{11}); finalmente, en el Estrato III, se encontró correlación significativa entre Z y las variables: X_1 , X_5 , X_6 , empatía (X_8) y fatalismo. Sobre la adopción de innovaciones, en los años de 1989-1990, 1990-1991 y 1993-1994, se dio el mayor grado de uso, de un período comprendido de 1989 a 1997.

¹ Campo Experimental Calera, Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Apartado Postal 18, 98500 Calera de Victor Rosales, Zacatecas, México. (galindogg_mx@yahoo.com.mx)

Recibido: Enero de 2001. Aceptado: Agosto de 2001, Publicado en Terra 19: 385-392.

Palabras clave: Transferencia, divulgación, extensión.

SUMMARY

In May 1998, a research project was carried in the state of Veracruz, Mexico, to evaluate a model implemented for the transfer of innovation to the rural sector. The model is called "Cattle breeders' association for the validation and transfer of technology" (GGAVATT). The GGAVATT selected was "Joachín," which was integrated in 1989. Three groups of breeders were considered: I, current participants; II, past participants; and III, breeders who never participated. Seventeen exploratory variables (social and productive types) and one response variable (use of innovations: Z) were selected. To measure these variables, a questionnaire was used for the survey. The results showed that there were different levels in terms of the following variables: exposure to means of communication (X_1), relationship with agents of change and extensionists (X_5), relationship with commercial business that commercialize products for rural environment (X_6), motivation for the realization (X_{15}), and use of innovations (Z). In Level I, it was determined that the variable Z is related to the variables X_1 , X_9 (years of formal education, and X_{13} (years of cattle-raising). In Level II, Z is correlated with X_1 and X_{11} , (amount of training). Finally, in Level III, a significant correlation was found between Z and the variables X_1 , X_5 , X_6 , X_8 (empathy), and fatalism. In the years 1989-1990, 1990-1991, and 1993-1994 a higher degree use of innovations was found.

Index words: Transfer, public information, technical assistance, extension.

INTRODUCCION

Desde los inicios de la década de los 80s, México ha enfrentado una serie de crisis recurrentes que han afectado su desarrollo, incidiendo, de manera determinante, en el sector agropecuario y forestal. En éste se presentan los siguientes problemas: desempleo, bajos grados de producción y productividad, rezago tecnológico, deterioro de los recursos naturales y, en general, pérdida de bienestar (Aguilar, 1994). Lo anterior se refleja en que sólo 24% de la población económicamente activa de este sector labora y aporta 7% de la riqueza nacional, es decir, una productividad inferior a la tercera parte de la media de México.

En el subsector pecuario, esta crisis se ha traducido en un estancamiento y, en ocasiones, en un retroceso tecnológico y productivo que limita el crecimiento de la disponibilidad de alimentos de origen animal de alto valor nutricional, la descapitalización de las unidades de producción y el bajo nivel de vida de un alto porcentaje de los productores. Esta situación se agrava por los factores limitativos que enfrenta el sector público, provocando la reducción real de los recursos y esfuerzos destinados al desarrollo de las actividades ganaderas.

Por otra parte, está ampliamente demostrado que, en México, existen innovaciones disponibles generadas por instituciones de investigación y éstas, al ser aplicadas por los productores, mejoran la producción y productividad de la ganadería. La Secretaría de Agricultura, Ganadería y Desarrollo Rural, a través del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), dispone de un modelo de transferencia de tecnología pecuaria, que ha operado con éxito como una estrategia para difundir innovaciones en el medio rural. Este modelo, en donde coinciden los esfuerzos y recursos destinados a la transformación tecnológica y productiva de las actividades pecuarias de México, ha recibido el nombre de "Grupo de Ganaderos para la Validación y Transferencia de Tecnología (GGAVATT)".

Rodríguez (1992) informó que un GGAVATT se integra por un grupo de ganaderos organizados para la producción, con entusiasmo y deseo de adoptar nuevas innovaciones. Se organizan en grupos de 10 a 20 propietarios de ranchos o granjas con características y propósitos de producción similares y es importante que la ganadería sea la actividad principal de los rancheros. El grupo recibe asesoría

técnica profesional directamente en sus ranchos y establece mecanismos de coordinación con instituciones de investigación para tener acceso a nuevas innovaciones. Para la validación de las innovaciones, en uno de los predios se establece un módulo.

El objetivo de los GGAVATT es acelerar el proceso de transferencia de innovaciones pecuarias, para incrementar la producción y productividad de los ranchos y granjas, fomentando la conservación y el mejoramiento de los recursos naturales y el ambiente ecológico. Para lograr lo anterior, se siguen cuatro etapas, las cuales se describen a continuación:

Etapas I. Dura aproximadamente 12 meses y en ésta se realiza un diagnóstico de la situación agropecuaria, socio-económica y técnico-productiva de los ranchos que integran el GGAVATT, así como del área de influencia donde se localiza el grupo; se definen también los compromisos y responsabilidades del grupo ganadero con las instituciones participantes. Después de constituir oficialmente al grupo, se establece la mecánica operativa, las fechas de las reuniones de trabajo, el calendario de las juntas mensuales y de visitas que el asesor realizará a cada uno de los ranchos para solucionar problemas prioritarios; finalmente, se selecciona el módulo de validación.

Etapas II. Se inicia la validación y aplicación del paquete tecnológico y se establecen los registros económicos y de producción; además, se define un calendario para realizar actividades técnicas en los ranchos, las cuales se proponen, discuten y aprueban en las juntas mensuales de trabajo; cada ganadero realizará éstas de acuerdo con su conveniencia o disponibilidad económica; esta etapa se desarrolla en un período de 12 a 14 meses.

Etapas III. Contempla la capacitación intensiva del uso de nuevas innovaciones consideradas de lenta adopción, como: ensilaje, henificado, inseminación y suplementación; ésta se dirige a ganaderos, asesores, encargados de los ranchos y vaqueros. Por otra parte, los mismos rancheros analizan e interpretan la información productiva obtenida. Esta etapa termina en el tercer o cuarto año después de constituido el GGAVATT.

Etapas IV. Se inicia a partir del cuarto o quinto año después de integrado el grupo. En ésta se establecen acciones para la comercialización y se realizan

inversiones considerables de capital. Como se requiere de financiamiento, es importante que el grupo esté totalmente consolidado y que únicamente permanezcan los ganaderos que estén convencidos de la organización y del cambio tecnológico y que, además, utilicen la totalidad de las prácticas obligatorias y más de 70% de las prácticas sugeridas. Las prácticas obligatorias son: a) identificar numéricamente (a fuego o con arete) al ganado; b) llevar tarjetas de registro productivo, reproductivo y sanitario; c) pesar leche (si se cuenta con bovinos productores), por lo menos cuatro veces al mes; d) realizar diagnósticos de mastitis y brucelosis; e) llevar registros económicos; f) suplementar con sales minerales 365 días del año; g) solicitar los diagnósticos de gestación; h) asistir a las juntas mensuales; i) pagar la cuota económica convenida en la asamblea; y j) usar el mayor número de innovaciones indicadas en el calendario de actividades, de acuerdo con sus posibilidades económicas y con su nivel tecnológico.

Los tiempos mencionados para el desarrollo de cada una de las etapas es variable, ya que dependerá de las características de los miembros del grupo.

Antecedentes del GGAVATT Joaquín

El presente estudio se realizó en el GGAVATT Joaquín, que está enclavado en el área ganadera del mismo nombre, localizada entre 18°38' norte y 96°14' oeste; esta planicie pertenece al municipio de Tierra Blanca, Veracruz (estado del sureste de México, que cuenta con 4.6 millones de cabezas de ganado bovino, en una superficie de 3.3 millones de hectáreas); el clima es cálido sub-húmedo AW₂, con una temperatura promedio de 26 °C. En esta zona existen alrededor de 90 000 bovinos y se estima una producción diaria aproximada de 25 000 L de leche (Bueno *et al.*, 1991).

Las actividades del GGAVATT Joaquín se iniciaron en 1989, con la participación de 18 ranchos; esta cifra ha variado, ya que algunos productores se han retirado y otros se han integrado.

La superficie promedio de los ranchos que han participado es de 107 ha y de uso pecuario 96 ha, de las cuales 31% dispone de riego por gravedad; el sistema de producción empleado es el de doble propósito. Al iniciar las actividades, ninguno de los productores participantes realizaba las siguientes prácticas: pesado de leche, registros de producción y económicos, inseminación artificial, evaluación de sementales, diagnóstico de gestación y de mastitis,

análisis de heces, suplementación mineral, ensilado y henificado. Un por ciento de éstos suplementaba con subproductos; 2% desparasitaba contra *Faciola hepatica*, realizaba diagnóstico de brucella, suplementaba con forraje verde y sembraba forrajes de corte; 4% vacunaba; 5% fertilizaba sus potreros; 8% vacunaba contra brucella; y 18% desparasitaba sus animales y controlaba la maleza en sus potreros; además, en este grupo se contaba con 2043 cabezas de ganado bovino, del cual 36.5% eran vacas, 15.5 novillonas, 13.2 becerros y 13.3 becerras.

Adopción de Innovaciones

La adopción (y uso) de innovaciones es un proceso de cambio que se inicia con el conocimiento de una innovación y termina con la adecuación y uso de la misma (Mendoza, 1984). Las etapas de este proceso, son: primer conocimiento, interés, evaluación, ensayo y adopción (Galindo, 1997).

En estudios, realizados en México y en el extranjero, se ha determinado que entre los factores que influyen positivamente en el uso de innovaciones, destacan: la empatía (Navoa, 1972); el espíritu de innovación; el contacto con casas comerciales que distribuyen productos para el campo (Rogers y Beal, 1960; Madrigal, 1989; Galindo, 1995); el uso de crédito (Reichart, 1976); el contacto con instituciones del sector agropecuario (Mendoza, 1979); la edad; la superficie cultivada (Canizales, 1964; Becerra, 1982); la escolaridad (Wilson y Gallup, 1964; Medina, 1980; Becerra, 1982); la relación con agentes de cambio (Wilson y Gallup, 1964; Tello, 1974; Galindo, 1995); el cosmopolitismo; y la exposición a medios de comunicación (Magdub, 1964; Rogers y Shoemaker, 1974; Medina, 1980; Galindo, 1992); finalmente, en 1996, Castillo concluyó que la adopción de tecnología se correlaciona negativamente con actividades que no favorecen a la ganadería en su desarrollo, ya que determinó que a mayor ingreso extra-finca, menor grado de adopción.

Determinación de Variables

La variable respuesta, seleccionada en el presente estudio, fue: uso de innovaciones (Z), la cual incluyó los siguientes indicadores: económico-administrativos (identificación del ganado, pesado de leche, registros de producción y registros económicos), nutrición y

alimentación (utilización de sales minerales, suplementación con subproductos, con alimentos concentrados y con forrajes de corte, así como lactancia controlada), reproducción (monta controlada y diagnóstico de gestación), transformación (elaboración de productos lácteos), salud animal (vacunación, desparasitación, prueba de brucella y tuberculosis, prueba de mastitis y análisis de excremento), uso y mejoramiento de praderas (implementación de pastoreo intensivo, realización de ensilado o henificado, producción de forraje, uso de forrajes de corte, establecimiento de cercos vivos, fertilización de potreros y control de maleza). Las variables explicatorias fueron: exposición a medios de comunicación (X_1), edad (X_2), contacto con instituciones de investigación (X_3), contacto con instituciones del sector agropecuario (X_4), relación con agentes de cambio y extensionistas (X_5), relación con casas comerciales que distribuyen productos para el campo (X_6), cosmopolitismo (X_7), empatía (X_8), años de educación formal (X_9), grado de organización (X_{10}), grado de capacitación (X_{11}), superficie explotada (X_{12}), años de ser ganadero (X_{13}), tiempo de radicar en la zona (X_{14}), motivación a la realización (X_{15}), nivel de vida (X_{16}) y fatalismo (X_{17}).

Los objetivos del estudio fueron: a) conocer si las variables indicadas en el párrafo anterior son iguales en tres diferentes estratos de rancheros que se encuentran dentro del área ganadera de Joachín (Estrato I, productores que actualmente participan en el GGAVATT Joachín; Estrato II, productores que participaron y que actualmente no participan dentro de este GGAVATT; Estrato III, productores que nunca han sido miembros del GGAVATT Joachín); b) determinar si las variables explicatorias influyen en el uso de innovaciones; c) comprobar si los productores participantes en el GGAVATT Joachín han implementado el uso de nuevas innovaciones en sus ranchos, durante el período comprendido de 1989 a 1997. Para realizar el presente estudio, se definieron tres tipos de estratos señalados anteriormente.

MATERIALES Y METODOS

Del Estrato I, se consideró el total de productores que actualmente participan ($N = 7$); del Estrato II, se tomó una muestra aleatoria de siete ganaderos que representan a 50% del total de la población;

finalmente, del Estrato III se tomaron, aleatoriamente, como muestra 11 ganaderos, de un total de 1200.

Para la medición de las variables seleccionadas se diseñó un cuestionario, el cual quedó integrado por un total de 124 preguntas de tipo cerrado y abierto; éste se probó previamente antes de su aplicación definitiva que se realizó durante mayo 1998. Las escalas que se utilizaron para la medición de las variables fueron: ordinal, intervalo y proporción, por lo cual, las pruebas que se aplicaron para la comprobación de las hipótesis fueron no paramétricas; éstas incluyen un conjunto de métodos inferenciales válidos en un rango muy amplio de formas de distribución de la población; la aplicación de estos métodos no requiere del modelo o patrón de una población en términos de un parámetro empírico relacionado con la forma geométrica de la curva que representa a la población de estudio.

Para medir el uso de innovaciones (de 1989 a 1997), se consideró anualmente el porcentaje de uso de las prácticas productivas del paquete tecnológico sugerido en el GGAVATT Joachín, las cuales fueron: pesado de leche; registros de producción y económicos; control de lactancia; suplementación mineral, con dieta balanceada, con forrajes de corte y con subproductos; diagnósticos de gestación; uso rutinario de hormonas; inseminación artificial; monta controlada; comercialización organizada; industrialización; doble ordeño; vacunación; desparasitación; hato libre de brucelosis y tuberculosis; diagnóstico de mastitis; análisis de excremento; pastoreo intensivo; ensilaje; siembra de forrajes de corte; siembra de cercos vivos; fertilización de potreros; control de maleza; y uso de cercos eléctricos.

Se aplicó la prueba para una clasificación por intervalos de Kruskal y Wallis para muestras independientes, con la finalidad de probar la hipótesis de que las variables respuesta (Z), así como las explicatorias ($X_1 \dots X_{17}$) son iguales en los diferentes estratos de productores. Siegel (1975) mencionó que esta técnica examina la hipótesis de nulidad que supone que todas las muestras proceden de la misma población o de poblaciones idénticas (con respecto al promedio) y que para su operación requiere, cuando menos, una medida ordinal de la variable estudiada. Este procedimiento es la contraparte no paramétrica de la prueba de F (análisis de varianza paramétrico) y es más eficiente que la extensión de la prueba de la mediana, ya que utiliza más información de las observaciones al convertir los valores en rangos, en

lugar de simplemente dicotomizarlos por encima y por debajo de la media.

Para probar la hipótesis de que no es significativa la correlación entre la variable dependiente (Z) y las demás variables explicatorias ($X_1 \dots X_{17}$), se aplicó la correlación de rangos de Spearman, sobre la cual Infante (1983) comentó que, si se tiene una muestra bivariada (X_1, Y_1), (X_2, Y_2) ó (X_n, Y_n), y la escala es cuando menos ordinal en ambas variables, puede calcularse este coeficiente conocido también como: coeficiente de rangos ordenados; éste es uno de los más frecuentes y útiles, en el caso de ser pequeño (menor que 30) el número de pares de valores que se desean asociar. La eficiencia de correlación de rango de Spearman, cuando se compara con la correlación paramétrica más poderosa (la de Pearson), es de cerca de 91%.

Además, con la finalidad de probar que no existe diferencia significativa en cuanto al uso de tecnología en el período comprendido de 1989 a 1997, en los ganaderos que participan y han participado en el GGAVATT Joachín, se utilizó la prueba de rangos con signos y apareados de Wilcoxon; sobre ésta, Pérez y Haroldo (1987) comentaron que es más útil y poderosa cuando a una misma muestra se le aplican dos pruebas en diferentes ocasiones (diseño antes y después), en otras palabras, con mediciones repetidas; esta prueba indica el signo de la diferencia en cualquier par y clasifica las diferencias por orden de tamaño absoluto, es decir, puede hacer juicios de comparación, entre las ejecuciones de cualquier par y, también, entre los valores de dos diferencias cualesquiera procedentes de dos pares.

RESULTADOS Y DISCUSION

Prueba de Independencia

Con el propósito de conocer si existía diferencia en cuanto a las variables estudiadas en los tres estratos de ganaderos, al aplicar la prueba para una clasificación por intervalos de Kruskal-Wallis, con $X^2_{(0.05)} = 5.99$ (con dos grados de libertad) se rechaza la hipótesis nula para las siguientes variables: exposición a medios de comunicación (X_1), relación con agentes de cambio y extensionistas (X_5), relación con casas comerciales que distribuyen productos para el campo (X_6), motivación a la realización (X_{15}) y uso de innovaciones

(Z). Lo anterior demostró que se trata de tres poblaciones diferentes (Cuadro 1).

Prueba de Correlación

Por lo que respecta a la asociación que existe entre la variable dependiente (Z) y las demás variables independientes ($X_1 \dots X_{17}$), en el grupo de ganaderos del Estrato I, se determinó con un valor crítico para el coeficiente de correlación de Spearman (con α de 0.05) de 0.714, que existía asociación entre Z y la variable X_1 (en forma negativa). Lo anterior revela que la exposición a medios de comunicación no ayuda para que se usen más innovaciones, lo cual no coincide con lo que determinaron Magdub (1964), Rogers y Shoemaker (1974), Medina (1980) y Galindo (1992); es posible que esto se deba a factores del mercado que limitan a los productores para que incrementen su producción y productividad, o al costo que implica usar estas innovaciones. Por otra parte, en los Estratos II y III, la exposición a medios de comunicación si influyó en el uso de innovaciones, aunque en estos estratos, el uso de éstas es menor que en el Estrato I.

También, en el Estrato I, se determinó correlación entre Z y X_9 (años de educación formal) en forma

Cuadro 1. Análisis estadístico para una clasificación por intervalos de Kruskal y Wallis para las variables estudiadas en tres estratos.

Variable	Estadístico
X_1 . Exposición a medios de comunicación	22.52
X_2 . Edad	3.69
X_3 . Contacto con instituciones de investigación	4.25
X_4 . Contacto con instituciones del sector agropecuario	0.04
X_5 . Relación con agentes de cambio y extensionistas	13.68
X_6 . Relación con casas comerciales que distribuyen productos para el campo	9.73
X_7 . Cosmopolitismo	2.66
X_8 . Empatía	0.01
X_9 . Años de educación formal	2.76
X_{10} . Grado de organización	5.69
X_{11} . Grado de capacitación	1.22
X_{12} . Superficie explotada	0.72
X_{13} . Años de ser ganadero	3.27
X_{14} . Tiempo de radicar en la zona	0.20
X_{15} . Motivación a la realización	6.15
X_{16} . Nivel de vida	3.17
X_{17} . Fatalismo	3.12
Z. Uso de innovaciones	14.26

$X^2_{(0.05)} = 5.99$; gl = 2.

negativa, lo cual contradice lo encontrado por otros autores (Wilson y Gallup, 1964; Medina, 1980; Becerra, 1982). Lo anterior también se debe, posiblemente, a factores de mercado y al costo que implica el uso de las innovaciones; además, se encontró correlación entre Z y años de ser ganadero (X_{13}) en forma positiva.

En lo que se refiere al grupo de productores del Estrato II, con un grado de confiabilidad de 95% (con un grado de significancia de $0.05 = 0.714$) se determinó asociación positiva entre la variable Z y las variables: exposición a medios de comunicación (X_1) y grado de capacitación (X_{11}).

Finalmente, se observó que con una confiabilidad de 95% (con un grado de significancia de $0.05 = 0.535$), no se rechaza la hipótesis de que existe correlación positiva entre la variable Z y las siguientes variables: exposición a medios de comunicación (X_1), relación con agentes de cambio y extensionistas (X_5), relación con casas comerciales que distribuyen productos para el campo (X_6), empatía (X_8) y fatalismo (X_{17}). Es importante destacar, que sólo en este estrato se determinó que la relación que tienen los productores con los agentes de cambio y extensionistas influye significativamente en el uso de innovaciones, que no ocurre en los Estratos I y II.

Prueba de Significancia sobre el Uso de Innovaciones

Para probar la hipótesis de que no existió diferencia significativa en el grado de uso de innovaciones (en los ganaderos que participan y han participado en el GGAVATT Joachín), durante el periodo comprendido de 1989 a 1997, se aplicó la prueba de rangos con signos y apareados de Wilcoxon. En el Cuadro 2 se observa que, a un grado de significancia de $0.05 = \pm 1.96$, sí existió diferencia significativa en cuanto al uso de tecnología entre los

años de 1989-1990, 1990-1991 y 1993-1994. Es importante destacar que, de 1989 a 1990, se observó el incremento más elevado de uso de innovaciones, principalmente en lo que se refiere a: registros de producción y económicos, desparasitación, diagnóstico de mastitis, y de gestación y pesado de leche; también, se notó un incremento significativo de 1990 a 1991, en lo que se refiere al pesado de leche, inseminación artificial, suplementación mineral y con subproductos, ensilaje, henificado, suplementación con forrajes de corte, fertilización de potreros y siembra de forrajes de corte. Durante 1993 y 1994, se presentó un incremento en el uso de las siguientes innovaciones: control de lactancia, suplementación con dieta balanceada y con subproductos, uso rutinario de hormonas, comercialización organizada, doble ordeño, análisis de excremento, pastoreo intensivo y siembra de forrajes de corte.

Por lo que respecta al grado de uso de innovaciones durante el periodo comprendido de 1991 a 1993, en el Cuadro 2 se observa que no existió ningún cambio en cuanto al uso de innovaciones, los productores permanecieron estáticos, a pesar de que estuvieron participando dentro del grupo; lo mismo ocurrió durante la etapa comprendida de 1994 a 1997.

Es posible que los productores después de 1994 estén enterados de las nuevas innovaciones y dentro del proceso de adopción se encuentren en las etapas de primer conocimiento, interés y evaluación, y éstas no se apliquen, ya que se requiere de mayor inversión económica que la requerida para aplicar las innovaciones recomendadas en los primeros años.

CONCLUSIONES

Los tres estratos de ganaderos estudiados no proceden de una misma población, ya que difieren en cuanto a las siguientes variables: exposición a medios de comunicación, relación con agentes de cambio y

Cuadro 2. Prueba de rangos con signos y apareados de Wilcoxon para ganaderos que participan y han participado en el GGAVATT Joachín. 1998.

Periodo	1989 a	1990 b	1991 c	1992 d	1993 e	1994 f	1995 g	1996 g
	1990 b	1991 c	1992 d	1993 e	1994 f	1995 g	1996 g	1997 h
Estadístico Zc	14.75	2.54	0.57	1.56	2.9	1.28	1.64	0.75

Valor crítico con aproximación normal (Z) con $de 0.05 = \pm 1.96$.

Clave: a, b y c, con base en 18 ranchos; d, con base en 16 ranchos; e, con base en 10 ranchos; f, con base en 14 ranchos; g, con base en nueve ranchos; h, con base en siete ranchos.

extensionistas, relación con casas comerciales que distribuyen productos para el campo, motivación a la realización y uso de innovaciones.

En el Estrato I, se determinó que existe una correlación negativa entre la exposición a medios de comunicación y el uso de innovaciones, así como entre los años de educación formal y el uso de innovaciones; también, se observó correlación positiva entre las variables: años de ser ganadero y uso de innovaciones. En el Estrato II, se notó una correlación positiva entre la variable respuesta y las variables explicatorias: exposición a medios de comunicación y grado de capacitación. Finalmente, en el Estrato III, se observó una asociación positiva entre el uso de innovaciones y la exposición a medios de comunicación, relación con agentes de cambio y extensionistas, relación con casas comerciales que distribuyen productos para el campo, empatía y fatalismo.

Durante 1989-1990, 1990-1991 y 1993-1994, se dio el mayor uso de innovaciones, lo que demuestra que su adopción no es gradual, ya que algunos productores pueden quedarse en las etapas de primer conocimiento, interés o evaluación dentro del proceso de adopción. En 1991-1992, 1992-1993, 1994-1995, 1995-1996 y 1996-1997, estadísticamente no se determinó ningún incremento en el uso de innovaciones.

AGRADECIMIENTOS

El autor de este artículo agradece a los siguientes investigadores del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales y Agropecuarias, por sus aportaciones en el planteamiento del presente estudio: Dr. Heriberto Román Ponce, M. en C. Roberto Saldaña Alarcón, Dr. Othón Reynoso Campos y M. en C. Ubaldo Aguilar Barradas. El agradecimiento se hace extensivo al TA. Gustavo Bartolo Almora, por su apoyo brindado en la realización del trabajo de campo.

LITERATURA CITADA

- Aguilar B., V. 1994. Análisis financiero de las tecnologías agropecuarias del INIFAP. Campo Experimental La Posta, Paso del Toro, Ver., México. (Mimeografiado).
- Becerra B., F. 1982. Factores socio-económicos de los productores de maíz y su relación con la adopción de insumos mejorados. Tesis de Maestría. Colegio de Postgraduados. Chapingo, México.
- Bueno D., M.M., C.M. Chessani, B.U. Aguilar, G.F. Cisneros y P.H. Román. 1991. Grupos ganaderos de validación y transferencia de tecnología; segundo encuentro. Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos, Instituto Nacional de Investigaciones Forestales y Agropecuarias. Ver., México.
- Canizales, A. 1964. La disponibilidad y uso de medios de información en una región agrícola en desarrollo. pp. 69-72. *In*: D.T. Myren (ed.). Primer simposium interamericano de las funciones de la divulgación en el desarrollo agrícola. Secretaría de Agricultura y Ganadería, Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas. México, DF.
- Castillo M., A. 1996. Estudio del grado de adopción de la estrategia metodológica a grupos ganaderos para la validación y transferencia de tecnología, en los ejidos Mata Cocuite y Vargas, municipio de Veracruz, Ver., México. Tesis de Maestría. Colegio de Postgraduados, Instituto de Recursos Naturales, Campus, Ver. México.
- Galindo G., G. 1992. Aspectos relacionados con la comunicación agropecuaria entre ejidatarios del Mezquite, Zacatecas. *Fitotecnia Mexicana* 15: 193-196.
- Galindo G., G. 1995. Uso de innovaciones agrícolas en la región central de Zacatecas, México. *Fitotecnia Mexicana* 18: 140-150.
- Galindo G., G. 1997. Comunicación rural. México. (Manual 4). Secretaría de Agricultura, Ganadería y Desarrollo Rural, Instituto Nacional de Capacitación del Sector Agropecuario. México.
- Infante G., S. 1983. Métodos estadísticos no paramétricos. Colegio de Postgraduados. Chapingo, México.
- Madrigal M., A. 1989. Evaluación de la asistencia técnica proporcionada por un CADER en relación con la adopción de tecnología en 12 ejidos del centro del estado de Michoacán. Tesis de Maestría. Colegio de Postgraduados. Montecillo, México.
- Magdub, A. 1964. La difusión y adopción del cultivo de la soya en el Valle del Yaqui. pp. 151-157. *In*: D.T. Myren (ed.). Primer simposium interamericano de las funciones de la divulgación en el desarrollo agrícola. Secretaría de Agricultura y Ganadería, Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas. México.
- Medina A., J. 1980. Influencia de algunos factores sicosociales, económicos y tecnológicos que intervienen en el proceso de adopción de tecnología de maíz en una zona de Tlaxcala, México. Tesis de Maestría. Colegio de Postgraduados. Chapingo, México.
- Mendoza M., S. 1979. Rendimiento de cultivos y necesidades de información técnica de ejidatarios, colonos y pequeños propietarios del Valle del Yaqui, Sonora. Tesis de Maestría. Colegio de Postgraduados. Chapingo, México.
- Mendoza M., S. 1984. Marco conceptual de la transferencia, validación, difusión y adopción de tecnología agrícola. Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos, Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas. México.
- Navoa B., R. 1972. Sistema de comunicación e interacción entre técnicos y agricultores: Un estudio en el Plan Puebla. Tesis de Maestría. Colegio de Postgraduados. Chapingo, México.
- Pérez, T. y E. Haroldo. 1987. Estadística para las ciencias del comportamiento. Harla. México.

- Reichart, N. 1976. Análisis crítico de los diversos enfoques o sistemas de transferencia de tecnología agrícola en América Latina. Instituto Internacional de Ciencias Agrícolas. Uruguay.
- Rodríguez C., M. 1992. Grupos ganaderos de validación y transferencia de tecnología. (Publicación Especial 7). Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos, Instituto Nacional de Investigaciones Forestales y Agropecuarias. Jalapa, Ver., México.
- Rogers, E. y M. Beal. 1960. The adoption of the farm practices in a central Iowa community. Special Report. Ames, IA.
- Rogers, E. y F. Shoemaker. 1974. Communication of innovations a cross-cultural approach. MacMillan. USA.
- Siegel, S. 1975. Estadística no paramétrica aplicada a las ciencias de la conducta. Tard. de la 1a ed. por Javier Aguilar Villalobos. Trillas. México.
- Tello D., R. 1974. Algunos factores determinantes de la adopción de tecnología agrícola. México. Tesis de Maestría. Colegio de Postgraduados. México.
- Wilson, C. y G. Gallup. 1964. Métodos de enseñanza en extensión, y otros factores que influyen en la adopción de prácticas agrícolas y de economía del hogar. Centro Regional de Ayuda Técnica. México.

ESTRATEGIA DE COMUNICACION EN EL MEDIO RURAL ZACATECANO PARA TRANSFERIR INNOVACIONES AGRICOLAS

Communication Strategies for the Transfer of Agriculture Innovations in the
Rural Sector of Zacatecas

Guillermo Galindo González¹, Héctor Pérez Trujillo¹, Cuauhtémoc López Mendiola² y
Agustín Robles Martínez³

RESUMEN

En la entidad zacatecana, se obtiene bajo rendimiento en los cultivos que se establecen (frijol, maíz, avena, chile, nopal, duraznero y guayaba), debido, en principio, al desconocimiento de la aplicación de nuevas tecnologías generadas por las instituciones de investigación, presentes en el Estado. Por lo anterior, es urgente diseñar e implementar una estrategia de difusión que contemple las características socioeconómicas y tecnológicas de los productores del campo, así como de los agentes de cambio quienes les brindan asistencia técnica. Esta estrategia debe considerar la elaboración de catálogos de tecnología y la validación de la misma, así como el uso de medios de comunicación para reforzar el proceso de adopción de innovaciones. Finalmente, deben realizarse estudios que permitan retroalimentar la estrategia de comunicación.

Palabras clave: Difusión de innovaciones, transferencia de tecnología, desarrollo rural.

SUMMARY

In the state of Zacatecas, crop yields (beans, maize, oats, chili, cactus pear, peach, and guava) are low, primarily because of lack of knowledge of new technologies generated by research institutions located in the state. There is an urgent need to design and implement a strategy to inform a public with the

¹ Campo Experimental Calera, Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias-SAGARPA. Apartado Postal 18, 98500 Calera de Víctor Rosales, Zacatecas. (galindogg_mx@yahoo.com.mx)

² Instituto Tecnológico Superior de Fresnillo, Av. Tecnológico 2000, Col. Solidaridad, 99040 Fresnillo, Zacatecas.

³ Centro de Bachillerato Tecnológico Agropecuario No. 88. SEP-SEIT. Av. Castorena Prolongación Berriozabal 1, 98700 Ojocaliente, Zacatecas.

Recibido: Febrero de 2001. Aceptado: Agosto de 2001.
Publicado en Terra 19: 393-398.

socioeconomic and technological characteristics of these peasant farmers, as well as the agents of change who provide technical assistance. This strategy must include catalogs of technology and its validation, as well as the use of means of communication to reinforce the process of adoption of innovations. Finally, studies should be done to provide feedback on the communication strategy.

Index words: Divuligation, transfer of technology, rural development.

INTRODUCCION

En el estado de Zacatecas, una de las prioridades del Gobierno es incrementar la producción agrícola que se obtiene (principalmente en los cultivos de: frijol, maíz, avena, chile, nopal, duraznero y guayaba) y con esto elevar el nivel de vida en el medio rural, donde prevalece la pobreza y, en muchas ocasiones, la marginación y el olvido. Por lo anterior, es urgente implementar una estrategia de comunicación eficiente que permita difundir las tecnologías disponibles a grupos de productores específicos, así como los servicios de apoyo que ofrece el Estado para acelerar el proceso de desarrollo rural. Es indiscutible que existen innovaciones que permiten hacer más productivas la agricultura y ganadería e instituciones que enfocan su trabajo al sector agrícola, así como diferentes apoyos gubernamentales.

La modernización es, en gran medida, un proceso de comunicación; un cambio de lo tradicional a lo moderno implica la comunicación y la adopción de nuevas innovaciones; el cambio comienza en la mente de las personas y es en ella donde los medios de comunicación pueden implantar las imágenes de otras formas de producir la tierra. Es a través del proceso de comunicación como se logran transmitir las ideas entre las personas, desarrollar el proceso de enseñanza-aprendizaje de nuevos conocimientos y prácticas, cambiar las actitudes y modificar la conducta de los productores.

En este ensayo, se presenta un marco de referencia sobre el proceso de comunicación en el medio rural, así como la problemática del sector agrícola zacatecano. Finalmente, se plantea una propuesta para hacer eficiente el uso de los medios de comunicación, como una estrategia para transferir innovaciones al medio rural.

ANTECEDENTES

Comunicación

Desde el punto de vista estructural, la comunicación es el proceso de transmitir mensajes de una fuente a un receptor, con la finalidad de modificar la conducta de este último (Mendoza y Caetano, 1992); ésta es la relación establecida por la transmisión de estímulos y la provocación u obtención de respuestas, por medio de la cual se comprueba si los estímulos son efectivos (Pérez, 1987). Para que se dé una comunicación eficiente, Bertino (1991) señaló que la fuente y el receptor deben tener ciertas características semejantes, como son: habilidades en la comunicación, actitudes, grado de conocimiento y sistema sociocultural. La comunicación puede ser: interpersonal, intermedia, de masas y grupal.

Sobre la primera, Blake y Haroldsen (1984) indicaron que ésta tiene lugar en forma directa entre dos o más personas físicamente próximas y ellas pueden utilizar los cinco sentidos, con retroalimentación inmediata.

La comunicación intermedia es un nivel de relación, cuyas características lo asemejan, tanto a la comunicación interpersonal, como a la masiva; además, ésta se distingue por la presencia de un instrumento técnico (teléfono, telégrafo y correo electrónico), que la mayoría de las veces se emplea en condiciones restringidas en que intervienen participantes identificables.

La comunicación de masas es la que presenta las siguientes características: a) se dirige a auditorios relativamente grandes, heterogéneos y anónimos; b) los mensajes se transmiten en forma pública, a menudo a una hora conveniente para llegar a la mayor parte del auditorio; y c) el comunicador suele pertenecer a una organización compleja. A través de ésta, se transmiten mensajes por medios masivos, que permiten a uno o varios individuos llegar a un auditorio de muchas personas y se distingue de la comunicación interpersonal, por: a) el potencial mayor al auditorio simultáneo que puede alcanzar;

b) la posibilidad de una demora en la recepción; c) la dificultad de obtener respuesta inmediata de los receptores; y d) la ausencia de una vigilancia mutua entre la fuente y el receptor.

Sobre los medios masivos, Rogers y Shoemaker (1974) comentaron que éstos son todos los conductos para transmitir mensajes, en los cuales interviene un medio de masas, además, comentaron que la comunicación masiva recibe, a veces, el calificativo de mediana, por el canal impreso o electrónico que vincula la fuente con el receptor. Estos medios se clasifican en: impresos (periódicos, revistas, folletos, circulares y carteles) y electrónicos (radio, televisión y cine); en muchas ocasiones, éstos brindan la oportunidad de entrar en contacto con un mundo diferente y menos tradicional del que pertenecen los agricultores, permite que éstos conozcan y se interesen por los beneficios que conllevan la educación, el esfuerzo personal y la obtención de mayores ingresos (Blanco, 1979); también, facilitan conocer el papel de personas muy distantes al del receptor y sirven de estímulo para aumentar la capacidad empática.

La comunicación grupal es aquella que se da en grupo; un ejemplo es la que se desarrolla durante una demostración.

Medios de Comunicación y su Eficiencia

Quirós *et al.* (1989) asentaron que la efectividad de un medio de comunicación está en relación con el número de sentidos que afecta, por ejemplo: el material impreso estimula la vista; la radio y las cintas grabadas, el oído; la televisión, el vídeo y los títeres estimulan la vista y el oído; y únicamente las demostraciones personales de métodos y resultados afectan todos los sentidos.

Rogers y Svenning (1979) informaron que los medios de comunicación masiva pueden compensar, en alguna medida, la lejanía física de las comunidades campesinas, ya que muchos agricultores tienen un contacto muy escaso con el mundo exterior. Sobre los mismos medios, Rogers y Beal (1960), en la región central de Iowa de los Estados Unidos de América, concluyeron que éstos resultaron muy importantes en las dos primeras etapas del proceso de adopción de tecnología (conocimiento e interés); las fuentes de carácter no formal, como amigos y vecinos, revistieron especial importancia en las fases de prueba y adopción, siguiéndoles en importancia los

organismos estatales, incluidos los servicios de extensión agrícola.

Izcaray y Minelly, citados por Gutiérrez (1989), señalaron que investigaciones realizadas sobre patrones de exposición a los medios de comunicación de masas en América Latina, indican lo siguiente: "Los alfabetos y aquellos que han recibido alguna educación formal en las áreas rurales son los mayores usuarios de los medios de comunicación y que éstos usan más los medios impresos que los analfabetas"; estos autores agregaron también que los analfabetas se exponen, hasta cierto punto, a los materiales impresos con la ayuda de parientes y amigos que saben leer, cuando el material les interesa.

Otros autores, como Quirós *et al.* (1989), afirmaron que los medios de comunicación impresos son menos efectivos que los audiovisuales; sin embargo, el material escrito le permite al lector controlar el tiempo, la velocidad y el ritmo de lectura, además, si el lector se cansa y desea continuar la lectura en otra oportunidad, o desea consultar sobre un tema o aspecto que no recuerde bien, simplemente vuelve al libro, folleto o plegable, resuelve su inquietud por sí mismo y en el momento que lo requiere.

Situación Agrícola en Zacatecas

En el estado de Zacatecas, se siembran anualmente un promedio de 1.2 millones de ha, en donde los cultivos de frijol y maíz ocupan 91%; 88% del área cultivada es de secano con lluvia deficiente (250 a 550 mm), ciclo corto (80 a 110 días) y temperaturas bajas (15 a 22 °C). Otros cultivos que se desarrollan con temporal son: trigo, avena de grano, cebada y avena forrajera; entre los de riego destacan: frijol, maíz, trigo, chile, vid, guayabo y duraznero. Los cultivos básicos ocupan, en promedio, 91% del área cultivada, los frutales 4%, las hortalizas 2% y prácticamente no se producen cultivos industriales; por lo que respecta a los cultivos forrajeros, éstos cubren 21% de la superficie (Luna y Galindo, 1997).

En el Estado, el rendimiento que se obtiene en los cultivos es bajo en comparación con el promedio nacional, y con el que se podría obtener si se aplicaran las innovaciones agrícolas generadas por las instituciones de investigación presentes en la Entidad (Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Universidad Autónoma Chapingo y la Universidad Autónoma de Zacatecas); la razón de este atraso se debe, principalmente, al

desconocimiento de la mayoría de los productores de estas innovaciones (Luna y Galindo, 1997). Otros problemas que limitan la producción agrícola son: sequía, granizo, enfermedades, maleza, heladas, altos costos de producción, comercialización y la falta de recursos económicos.

Algunas características de los productores zacatecanos son: a) es alta la relación que tienen con la Secretaría de Agricultura, Ganadería y Desarrollo Rural, pero baja con las demás instituciones del sector agropecuario; b) es bajo su grado de escolaridad (12% no asistió a ningún plantel de enseñanza formal y 48% sólo hasta el tercer grado de educación primaria); c) su edad es avanzada (la mayoría tienen de 44 a 56 años); d) la mitad de éstos acuden a casas comerciales que distribuyen productos para el campo y solicitan asesoría; e) 40% manifiesta un bajo espíritu de innovación (21% siembra semilla mejorada, 61% fertiliza o aplica abono orgánico, 32% aplica herbicida y 43% insecticida); f) su empatía es mediana; g) predomina la tenencia de la tierra ejidal; h) es bajo el porcentaje de productores que operan algún tipo de crédito; i) su nivel de vida y cosmopolitismo es bajo; y j) sólo 14% ha recibido algún apoyo de la Alianza para el Campo (Galindo *et al.*, 2000b). También, un alto porcentaje de éstos (además de la agricultura) realizan otras actividades, como: ganadería, albañilería, comercio y minería.

Sobre la relación de los productores con instituciones del sector agropecuario, Tapia *et al.* (1991) indicaron que uno de los factores que limitan la generación de tecnología, así como su transferencia, es el escaso vínculo que se da entre investigadores, agentes de cambio y productores. Galindo (1992a) determinó asociación positiva entre el grado de exposición a los medios de comunicación y el contacto que tienen los productores con instituciones del sector agropecuario. Autores como Alvarez *et al.* (1985) concluyeron que el grado de escolaridad influye sobre el grado de utilización de tecnología y Galindo (1994) encontró correlación entre la escolaridad y las siguientes variables: exposición a medios de comunicación, relación con agentes de cambio, contacto con casas comerciales y cosmopolitismo. Reyna *et al.* (1981) concluyeron que los agricultores jóvenes son los que siguen las recomendaciones técnicas que se les proporcionan. Sobre la relación de los productores con negocios que distribuyen productos para el campo, Canizales y Myren (1967) indicaron que éstos son una fuente importante de información para los productores, en

especial, para quienes operan mayor inversión. Rogers y Svenning (1979) afirmaron que el espíritu de innovación denota el grado en que un individuo se adelanta a otros dentro de un sistema social en la adopción de nuevas ideas. Sobre la empatía, Navoa (1972) y Galindo (1995) señalaron que ésta influye en la adopción de tecnología. Becerra (1982) informó que el tamaño de explotación de un predio influye en la adopción de nuevas tecnologías, así como el uso del crédito agropecuario (Reichart, 1976) y el nivel de vida (Wilson y Gallup, 1964; Rogers y Shoemaker, 1974).

Productores y Medios de Comunicación

Galindo (1994) afirmó que los medios de comunicación que más emplean los productores de Zacatecas, en orden de importancia, son: radio, televisión, periódicos, folletos y revistas, y demostraciones; sin embargo, los que éstos prefieren son: pláticas, demostraciones, cursos, folletos y revistas, radio, televisión, periódicos, cine y audiovisuales. De manera general, el uso que hacen los agricultores de los medios (masivos e interpersonales) para recibir información agropecuaria es bajo (Galindo, 1992a).

Sobre la relación que existe entre el uso de medios de comunicación con otras variables, Gouveia (1980), Nava (1983) y Galindo (1992a; 1994) señalaron que ésta se asocia con: edad, escolaridad, cosmopolitismo, contacto con extensionistas, ocupación, aplicación de prácticas agrícolas, relación con agentes de cambio, contacto con instituciones del sector, empatía, edad (en forma negativa), escolaridad y superficie cultivada con temporal.

Específicamente, sobre el uso de la radio en el medio rural, Galindo (1996) determinó que casi la totalidad de los productores de la región central de Zacatecas escuchan diariamente la radio y que éste sigue siendo uno de los medios de mayor penetración en el campo; además, concluyó que los productores tienen interés de escuchar programas radiofónicos agropecuarios en las radiodifusoras XEXZ, XEYQ y XHGPA de Zacatecas, los domingos, viernes y sábados de cada semana, en un horario comprendido entre 6:00 y 9:59 h de la mañana y entre 14:00 y 17:59 h, con una duración aproximada de 30 a 60 minutos.

Sobre la relación que tienen los agentes de cambio con los productores del campo zacatecano, Galindo

(1992b) determinó que es mínima, así como el grado de exposición que tienen los asistentes técnicos con los medios masivos de comunicación presentes en el Estado.

La mayor parte del tiempo disponible de los extensionistas lo emplean para realizar actividades que no tienen relación directa con la asistencia técnica; además, existen fuertes factores limitativos que frenan la eficiencia del servicio que prestan, entre los que destacan: a) baja coordinación entre la investigación y la transferencia de tecnología, lo que ocasiona una deficiente asistencia técnica y baja retroalimentación hacia la investigación; b) falta de continuidad de los programas de validación de tecnología; c) empleo de métodos de difusión y transferencia que no responden a las características socioculturales de los receptores; d) generación de tecnologías que no se adecuan a las unidades de producción; y e) existe desconfianza por parte de los productores hacia algunas instituciones del sector agropecuario; además, éstos tienen bajo salario, les falta medio de transporte y recursos materiales para realizar su labor eficientemente (Galindo, 1993). Galindo *et al.* (2000a) afirmaron que existen otros factores limitativos que frenan la labor de los extensionistas, entre los que destacan: falta de interés de los productores, poca credibilidad por parte de éstos, escasa organización en el campo y los productores no radican en las comunidades.

CONCLUSIONES

- Es necesario que, en Zacatecas, se diseñe e implemente una estrategia de comunicación para el medio rural, que parta del conocimiento preciso de las necesidades reales de información que tienen los productores agrícolas y los agentes de cambio que los asisten.
- Deben elaborarse catálogos de las tecnologías que se han generado y validado por las diferentes instituciones de investigación, presentes en el Estado, que ofrezcan alternativas de solución a los factores que limitan la producción.
- Las innovaciones que no se han probado en las condiciones de las unidades de producción deben validarse, para constatar directamente con los productores el efecto del componente y conjunto de componentes en cuanto al incremento en el rendimiento por unidad de superficie, reducción de los costos de producción por unidad de producto obtenido, mejoramiento de la calidad de producción y

reducción del esfuerzo humano en las actividades agrícolas.

- Permanentemente, es importante caracterizar a los productores y a los agentes de cambio, tomando en consideración variables de tipo: socioeconómico, tecnológicas y productivas.

- Las tecnologías que requieran de poca inversión y las que muestren resultados ventajosos de inmediato, deben ser las primeras que se difundan y, posteriormente, pasar a las más complejas y de resultados a largo plazo.

- Debe impulsarse la difusión de innovaciones de manera multimedia (masiva, grupal e interpersonal) para reforzar el proceso de adopción en sus diferentes etapas (primer conocimiento, interés, evaluación, prueba y adopción); ésta se tendrá que realizar tomando en cuenta los medios disponibles, así como los que prefieren los productores y los agentes de cambio para recibir información agropecuaria. Las innovaciones que se difundan deben reunir las siguientes características: ventaja relativa, compatibilidad, experimentabilidad y observabilidad.

- Los agentes de cambio deben contar con el material y el equipo necesario para realizar la asistencia técnica; además, debe fortalecerse este servicio.

- Deben establecerse acciones coordinadas de transferencia de tecnología por medio de paquetes tecnológicos, con la participación de las instituciones, que enfocan su trabajo al agro-zacatecano, y de los mismos productores; además, deben darse a conocer las actividades y servicios que ofrecen las dependencias del sector para lograr una mayor interacción de éstas con los receptores.

- Finalmente, es necesario investigar periódicamente lo siguiente: los factores que aceleran o limitan la difusión y adopción de la tecnología que se difunda; los medios, los métodos y la estrategia de comunicación; grados de adopción de tecnología y al sector institucional como apoyo a la producción.

AGRADECIMIENTO

Este ensayo forma parte del proyecto titulado: "Estrategia de difusión de tecnología para incrementar la producción de chile en Zacatecas" (con clave: 20000401015), el cual es financiado por el Sistema Regional Francisco Villa "SIVILLA" y el Patronato para la Investigación Agropecuaria y Forestal del Estado de Zacatecas, A.C.

LITERATURA CITADA

- Alvarez G., J., V. Martínez G. y C. Díaz H. 1985. La utilización de la tecnología en dos comunidades del Plan Mixteca Alta, estado de Oaxaca; el caso de recomendaciones para el maíz de temporal. *Agrociencia* 61: 13-26.
- Becerra B., F. 1982. Factores socioeconómicos de los productores de maíz y su relación con la adopción de insumos mejorados: El caso de una zona maicera del estado de México. Tesis de Maestría. Colegio de Postgraduados. Chapingo, México.
- Bertino, D. 1991. Comunicación. Centro de Estudios Agrícolas Borgo a Mozzano. Lucca, Italia.
- Blake, H. y O. Haroldsen. 1984. Una taxonomía de conceptos de la comunicación. 3a reimpresión. Nuevomar. México.
- Blanco M., L. 1979. Función de la información y algunos factores sicosociales asociados en el uso de innovaciones agrícolas. Tesis de Maestría. Colegio de Postgraduados. Chapingo, México.
- Canizales, A. y T. Myren D. 1967. Difusión de la información agrícola en el Valle del Yaqui. Folleto Técnico 51. Secretaría de Agricultura y Ganadería, Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas. México, DF.
- Galindo G., G. 1992a. Aspectos relacionados con la comunicación agropecuaria entre ejidatarios del Mezquite, Zacatecas. *Fitotecnia Mexicana* 15: 193-196.
- Galindo G., G. 1992b. Diagnóstico de la extensión agropecuaria en Zacatecas. *Fitotecnia Mexicana* 15: 169-177.
- Galindo G., G. 1993. Diagnóstico del servicio de asistencia técnica de la SARH a través de los extensionistas de las áreas maiceras del estado de Zacatecas. *Terra* 11: 115-124.
- Galindo G., G. 1994. Medios de comunicación y los productores de la región central de Zacatecas, México. *Turrialba* 44: 140-146.
- Galindo G., G. 1995. Uso de innovaciones agrícolas en la región central de Zacatecas. *Fitotecnia Mexicana* 18: 140-150.
- Galindo G., G. 1996. Exposición de los productores agrícolas de seis municipios de Zacatecas a programas de radio. *Fitotecnia Mexicana* 19: 21-30.
- Galindo G., G., G. Gómez A. y W.C. Tabares R. 2000a. Evaluación del sistema nacional de extensión rural en Zacatecas, México. *Agro-Ciencia (Chile)* 16: 247-258.
- Galindo G., G., W.C. Tabares R. y G. Gómez A. 2000b. Caracterización de productores agrícolas de seis Distritos de Desarrollo Rural en Zacatecas. *Terra* 18: 83-92.
- Gouveia P., J. 1980. Algunos factores que influyen en la comprensión de los mensajes escritos dirigidos a los agentes de cambio. Tesis de Maestría. Colegio de Postgraduados. México.
- Gutiérrez G., R. 1989. Los medios de comunicación, su uso y preferencia por agricultores de Durango. Publicación Especial 4. Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos, Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Durango, Dgo., México.
- Luna F., M. y G. Galindo G. 1997. La agricultura de Zacatecas; Un estado mexicano. *Agrociencia* 13: 77-90.
- Mendoza M., S. y O. Caetano A. 1992. Comunicación para el cambio: Dos puntos de vista. pp. 77-91. *In: Memorias del Módulo de Transferencia de Tecnología. Universidad Nacional Autónoma de México. México.*

- Nava V., L. 1983. La exposición de la información y factores que influyen en la percepción de problemas técnico-agrícolas en maíz por los productores del Distrito de Riego No. 18 del Istmo de Tehuantepec, Oaxaca. Tesis de Maestría. Colegio de Postgraduados. México.
- Navoa B., R. 1972. Sistema de comunicación e interacción entre técnicos y agricultores: Un estudio en el Plan Puebla. Tesis de Maestría. Colegio de Postgraduados. Chapingo, México.
- Pérez L., E. 1987. Comprensión de palabras técnicas por ejidatarios del municipio de Cotaxtla, Veracruz. Folleto de Investigación 69. Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos, Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Veracruz, Ver., México.
- Quirós D., J., S. Téllez J., P. Agudelo V. y M. Plaza E. 1989. Guía para la selección y producción de medios para la transferencia de tecnología agropecuaria. Ministerio de Agricultura, Instituto Colombiano Agropecuario. Colombia.
- Reichert, N. 1976. Análisis crítico de los diversos enfoques o sistemas de transferencia de tecnología agrícola en América Latina. Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas de la OEA. Uruguay.
- Reyna, C.E., V. Portillo M. y E. Sánchez J. 1981. Adopción de tecnología agrícola para el impulso de la producción de maíz en el estado de Tlaxcala, México. Folleto de Investigación 61. Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos, Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. México.
- Rogers, M.E. y M. Beal M. 1960. The adoption of the farm practices in a central Iowa community. Special Report 26. Ames, IA.
- Rogers, M.E. y F. Shoemaker. 1974. La comunicación de innovaciones: Un enfoque transcultural. Traducido al español por R. Vinos. Herrero Hermanos Sucesores. México, DF.
- Rogers, M.E. y L. Svenning. 1979. Modernization among peasant: The impact of communication. Holt, Rinehart and Winston. USA.
- Tapia N., A., S. Hernández A. y A. Mejía C. 1991. Diagnóstico de los extensionistas de las áreas maiceras en el estado de Guanajuato. Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos, Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Guanajuato, Gto., México.
- Wilson, C. y G. Gallup. 1964. Métodos de enseñanza en extensión y otros factores que influyen en la adopción de prácticas agrícolas y de economía del hogar. Centro Regional de Ayuda Técnica. México, DF.

INDICE DE AUTORES
AUTHORS INDEX

399

- Acevedo-Sandoval, Otilio 363
Acosta Hernández, Rafael 273, 317
Aguilar Santelises, A.† 67
Alarcón, A. 29
Alcalá de Jesús, María 227
Alcántar González, Gabriel 37, 47, 97, 117, 141, 163, 199, 249, 327, 353
Almaraz Suárez, J.J. 241, 327
Alvarez Avila, Ma. del Carmen 37
Alvarez-Sánchez, E. 55
Amado Alvarez, Jesús P. 175, 183
Asiain Hoyos, Alberto 37
Avitia-García, E. 127
Becerril Román, A. Enrique 133, 273
Borges Gómez, Lizette 353
Bravo E., M. 89
Bravo Lozano, Angel G. 83
Cabrera, R.I. 249
Campos Cascaredo, Adolfo 105
Cárdenas Soriano, E. 117
Carrillo González, R. 199
Castellanos, J.Z. 55, 67
Castillo-González, A.M. 127
Castillo Morales, Alberto 37
Catalán V., Ernesto A. 1
Cetina Alcalá, Víctor M. 259
Colinas L., M.T. 163
Crespo Pichardo, Guillermo 281
Cruz-Flores, G. 47, 337
Cruz Huerta, Lourdes 105
Cuenca Adame, Ernesto 75
Díaz Aguilar, I. 199
Díaz Estrada, Antonio 293
Díaz Vargas, P. 327
Díaz de León Tobías, José Gonzalo 375
Eduardo del Angel, Juan José 317
Escalante E., L. Enrique 309
Escalante Estrada, J. Alberto 19, 75, 309
Espinosa Hernández, Vicente 141
Espinosa-Victoria, David 345
Estañol Botello, E. 117
Etchevers Barra, Jorge D. 55, 105, 155, 163, 353
Ferrera-Cerrato, R. 29, 241, 259, 327, 353
Figueroa-Ruiz, M. 127
Fimbres Fontes, Adán 191
Flores-Román, David 363
Galindo González, Guillermo 385, 393
García C., O. 249
García P., E. 133
Gardezi, Abdul Khalil 259
Gavi Reyes, F. 67, 249, 301
Gaytán Mascorro, Arturo 265
Godoy Avila, Salvador 265
González-Chávez, M.C. 29
González Cossio, F.V. 199
Graham, Peter H. 345
Gutiérrez Castorena, Ma. del Carmen 227
Hidalgo M., Claudia 105
Inzunza I., Marco A. 1
Jaén C., D. 133
Larqué Saavedra, Mario U. 199, 259
León Arteta, Régulo 219
Loaeza R., G. 89
López Jiménez, Alfredo 317
López Mendiola, Cuauhtémoc 393
López-Mtz., José Dimas 293
López S., Felipe 9
Maldonado T., R. 163
Marcos Soto, R. 155
Martínez Garza., A. 55, 117
Martínez Hernández, José de J. 273, 301
Martínez M., Víctor E. 9
Martínez Rubin, Enrique 293
Montaño Arias, Noé Manuel 337
Mora Gutiérrez, M. 67
Núñez Escobar, Roberto 55, 141, 155
Oleschko, Klaudia 105
Olguín Palacios, Carlos 37
Ordaz Ch., V. 67
Ortiz C., J. 55
Ortiz Franco, Pedro 175, 183
Ortiz Solorio, Carlos A. 211, 227
Padilla Bernal, Luz E. 83
Palma López, David J. 155
Palomo Gil, Arturo 265
Parada B., F.A. 133
Parra Quezada, Rafael A. 273
Peña-Cabriales, Juan J. 155, 301
Pereyda Pérez, Gaspar 353
Pérez Mercado, Claudio A. 259
Pérez Trujillo, Héctor 393
Quevedo Nolasco, Abel 281
Quiroz García, Verónica 337
Ramírez Ayala, Carlos 75
Reyes Rivas, Elivier 83
Robles Martínez, Agustín 393
Rodas Cifuentes, Adán 141
Rodríguez A., J. 163
Rodríguez G., María Teresa 309
Rodríguez Mendoza, Ma. de las Nieves 97
Rodríguez Montessoro, R. 117
Ruiz V., J. 89
Salgado García, Sergio 155
Salinas González, Homero 83
Sánchez García, Prometeo 75, 117
Santizo Rincón, J.A. 47
Solís Moya, Ernesto 375
Soria Fregoso, Manuel de Jesús 353
Sotelo Ruiz, Erasto D. 211
Tijerina Chávez, Leonardo 281, 317
Tirado Torres, J.L. 47, 127
Trejo Téllez, Libia Iris 97
Trinidad Santos, José 353
Valdez Cepeda, Ricardo D. 293
Vázquez Alarcón, A. 199
Vega Muñoz, Ricardo 75
Velasco Velasco, V.A. 117
Velasco Velasco, J. 241
Velásquez Mendoza, Juan 259
Velásquez-Rodríguez, Alma 363
Villa C., Ma. Magdalena 1
Villaman Peña, Ramon 281
Villegas-Monter, A. 29
Villegas Torres, Oscar G. 97
Vivanco-Estrada, R.A. 301
Volke H., V. 67, 249
Zavaleta Mejía, E. 117

REVISORES QUE COLABORARON DURANTE 2001

- Acosta Gallegos Jorge A.
 Acosta Hernández Rafael
 Adame Martínez Salvador
 Aguilar Ruiz José
 Aguilar Sánchez Genaro
 Aguirre Gómez Arturo
 Alarcón Alejandro
 Alcántar González Gabriel
 Alcorada Margarita
 Almaguer Vargas Gustavo
 Alvarado López Jorge
 Alvarez Sánchez Ma. Edna
 Armenta Bojorquez A. Dagoberto
 Arteaga Tovar Eduardo
 Asteiza Bilbao Gaiska
 Ayala Orduño José Luis
 Baca Castillo Gustavo A.
 Barrales Domínguez J. Sergio
 Becerra Moreno Antonio
 Belloso O. Claudio
 Bornemisza Elemer
 Bravo Espinosa Miguel
 Bullón Ames Juan
 C. Montoya Jorgelina
 Caballero Mellado Jesús
 Cabrera Delgado Jesús Manuel
 Cabrera Raúl I.
 Cadena Zapata Martín
 Campos Cascaredo Adolfo
 Campos Magaña S. Gabriel
 Cantellano de Rosas Eliseo
 Carrillo González Rogelio
 Castellanos Ramos Javier Z.
 Contreras Magaña Efrain
 Coras Merino Pablo M.
 Corlay Chee Langen
 Cortés Flores Héctor G.
 Cortes Flores José I.
 Cram Heydrich Silke
 Cristóbal Acevedo David
 Cueto Wong José Antonio
 Chavez Aguilera Noel
 Duran García Héctor M.
 Díaz de León Gonzalo
 Elizondo Antonio
 Enríquez Reyes Sergio A.
 Escalante Estrada José Alberto
 Espinosa Espinosa Honorio
 Espinosa Victoria David
 Espinoza Hernández Vicente
 Etchevers Barra Jorge D.
 Farias Larios Javier
 Favela Chavez Esteban
 Faz Cano Angel
 Felix Verdugo Omar
 Ferrera Cerrato Ronald
 Fimbres Fontes Adan
 Gallegos Vázquez Clemente
 García María
 García Calderón Norma
 García Mina Freire María
 Garrigo Reixach Jorgi
 Gardezi Khalil Abdul
 Geissert Kienta Daniel
 Gerding Salas Víctor R,
 Gómez Cruz Guadalupe
 Gómez Cruz Manuel Angel
 Gómez Díaz David Jesús
 González Barrios José Luis
 González Chavez Ma. del Carmen
 González Hernández Víctor
 González Norma Susana
 Gutiérrez Castorena Ma. del Carmen
 Hernández Roque Felicitos
 Islas Gutiérrez Fabián
 Jasso Ibarra Rodolfo
 Jasso Mata Jesús
 Larqué Saavedra Alfonso
 Lazaro Chávez Pedro
 Lazzari María Aurora
 Lee Rodríguez Vicente
 León Larraga Mariana
 Leyva Mir Gerardo
 Leyva Ruelas Gabriel
 López Alcocer Eduardo
 López Martínez José Dimas
 López Reyes Lucia
 Maldonado Torres Ranferi
 Martínez Gamiño Miguel A.
 Martínez Garza Angel
 Mata Velasco Reina
 Méndez García Teodoro
 Mesta Howard Ana María
 Mirafuentes Hernández Felipe
 Morales López Alfredo
 Morales Salinas Luis
 Nakama Vicente
 Narro Farias Eduardo A.
 Núñez Escobar Roberto
 Oess Andrea
 Olivares Pascual José
 Orona Castillo Ignacio
 Ortiz Olguin Miguel
 Ortiz Solorio Carlos A.
 Oscar Belloso Claudio
 Palacios Mayorga Sergio
 Palacios Vélez Oscar L.
 Parada Carrasco Ana María
 Paredes González Josefina
 Pedroza Sandoval Aurelio
 Peña Cabriales Juan José
 Pérez Nieto Joel
 Pérez Zamora Octavio
 Pineda Pineda Joel
 Poch Claret Rosa Ma.
 Polo Gómez María José
 Queitsch Kroker Jürgen
 Quintero Lizaola Roberto
 Quiroga Garza Mario H.
 Ramírez Ayala Carlos
 Rebolledo Robles Héctor H.
 Robledo Santoyo Edmundo
 Rodríguez Mendoza Ma. del las Nieves
 Rodríguez Orlando
 Rodríguez Neave Francisco
 Román Calleros Jesús
 Romero Lima Ma. del Rocío
 Rubio Covarrubias Oswaldo A.
 Ruiz Vega Jaime
 Salgado García Sergio
 Salvador Figueroa Miguel
 Sánchez Sánchez Ernesto
 Sandoval Villa Manuel
 Santibañez Quezada Fernando
 Schwentesius Rindermann Rita
 Sommer Cervantes Irene
 Soria Fregoso Manuel de Jesús
 Tah Iuit Juan Francisco
 Tapia Vargas Luis Mario
 Tavares Espinosa Carlos
 Tijerina Chavez Leonardo
 Tiscareño López Mario
 Torrent Castellet José
 Trinidad Santos Antonio
 Uribe Gómez Sergio
 Uvalle Bueno Jaime Xavier
 Valdez Ramírez María
 Vargas Hernández Mateo
 Vázquez Aguilar Valentín
 Vázquez Alarcón Antonio
 Velasco Velasco Vicente A.
 Villarreal Romero Manuel
 Villegas Monter Angel
 Volke Haller Víctor
 Zamudio González Benjamín
 Zarate Valdez José Luis
 Zavaleta Mejía Emma
 Zermefio González Alejandro
 Zermefio González Héctor

NORMAS PARA PUBLICACION EN TERRA

TIPOS DE MANUSCRITOS PARA PUBLICACION

La Revista TERRA acepta trabajos en español e inglés, sobre temas relacionados con la ciencia del suelo y el agua. Estos pueden ser artículos científicos, notas de investigación, ensayos, cartas al editor y reseñas de libros.

Se entiende por artículo científico aquél basado en un trabajo de investigación en el cual se ha aplicado en forma rigurosa el método científico y se ha estudiado el efecto que tienen diferentes tratamientos sobre la respuesta medible de un sistema, como metodología para comprobar o rechazar una hipótesis claramente establecida en el trabajo.

Las notas de investigación son artículos basados en trabajos experimentales que presentan aspectos metodológicos novedosos o resultados que el autor quisiera publicar antes de finalizar su investigación.

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

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

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

Los trabajos que se envíen deberán ceñirse a estas normas para publicación y estarán sujetos a revisión por el Comité Editorial o por quien éste designe, antes de su publicación. No se aceptan trabajos ya publicados o que estén sometidos a la consideración de otras revistas.

CONTENIDO Y FORMATO DEL MANUSCRITO

Los artículos científicos y las notas científicas que se presenten deberán constar de las siguientes partes: 1) título, título en inglés; 2) autor(es); 3) institución(es) del trabajo y dirección de los autores; 4) resumen; 5) palabras clave; 6) summary; 7) index words; 8) introducción; 9) materiales y métodos; 10) resultados y discusión; 11) conclusiones y 12) literatura citada. El Comité Editorial podrá aceptar algunas modificaciones a esta estructura, cuando el tenor del texto así lo aconseje.

Los ensayos deberán constar de las siguientes partes: 1) título, título en inglés; 2) autor(es); 3) institución donde se desarrolló el trabajo; 4) resumen; 5) palabras clave; 6) summary; 7) index words; 8) introducción; 9) desarrollo del tema, con los subtítulos que se estimen convenientes; 10) discusión, cuando proceda; 11) conclusiones y 12) literatura citada.

Las cartas al editor y las reseñas de libros no tienen un formato definido, pero no deberán exceder de dos cuartillas a máquina y a doble espacio.

Los trabajos deben enviarse con original y dos copias, mecanografiados en papel tamaño carta a doble espacio, dejando márgenes de 2.5 cm en los cuatro costados y con las líneas numeradas. Las páginas, incluyendo los cuadros y las figuras, se numerarán progresivamente. El texto no deberá exceder 20 páginas, aunque la extensión ideal es de 15 para un artículo científico y de ocho para una nota científica. Cada cuadro o figura se incluirá en una hoja aparte con su correspondiente número de identificación con lápiz de grafito suave en el reverso. Las leyendas correspondientes se mecanografiarán en una hoja aparte. Los cuadros y las figuras contendrán sólo la información esencial y en ningún caso repetirán los datos que se presenten en otra forma. Las unidades que se empleen serán las del Sistema Internacional de Unidades. Los manuscritos, figuras y cuadros deberán entregarse también en un disquete de 3.5" en procesador Word para Windows de la versión más reciente. Las figuras deberán estar en un formato que permita hacer modificaciones posteriores.

FORMATO PARA PUBLICACION

En Terra, los trabajos se publican con el formato que se describe a continuación; sin embargo, los manuscritos deben ser preparados por los autores como se indicó en la sección anterior y tomando en cuenta, hasta donde sea posible, las instrucciones en esta sección. El personal editorial de Terra preparará la versión definitiva para su impresión en las páginas de la revista.

Título. El título se escribirá con mayúsculas, al inicio, centrado, con negritas y tipo de letra TIMES NEW ROMAN 14, se colocará su traducción al inglés debajo del título en español. El título en inglés se escribirá con minúsculas, excepto la primera letra de cada palabra, centrado, con negritas y tipo de letra TIMES NEW ROMAN 12.

Autores. Se incluirá el nombre del autor o autores en la manera en que éstos acostumbran escribirlo en sus publicaciones. No se usarán títulos ni grados. La primera letra del nombre y apellidos se escribirán con mayúsculas. Los nombres de los autores se separarán por comas, se centrarán, con negritas, tipo de letra TIMES NEW ROMAN 12, a un espacio después del título en inglés.

Institución(es) patrocinadora(s) y dirección de los autores. El objetivo de esta parte del artículo es dar el crédito respectivo a la institución que patrocinó el trabajo y que los lectores puedan contactar a los autores en caso necesario; la dirección postal y electrónica debe quedar claramente especificada. Esta identificación se escribirá con minúsculas, excepto las siglas, debajo de los autores, centrado y con tipo de letra TIMES NEW ROMAN 11.

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

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

Título de primer orden. Es el título principal del artículo.

Título de segundo orden. A este tipo corresponden las diferentes partes del artículo; Resumen, Summary, Introducción, etc. Se escriben con mayúsculas, centrados, con negritas (TIMES NEW ROMAN 11).

Títulos de tercer orden. Se escriben al margen izquierdo, con minúsculas, excepto la primera letra de

las palabras, en negritas, con espacios sencillos después del último texto escrito y del que continúa.

Títulos de cuarto orden. Se escriben al margen izquierdo, con negritas, con minúsculas excepto la primera letra, con punto seguido de texto. Sin numeración.

Resumen. Esta sección debe sintetizar, en aproximadamente 300 palabras, los aspectos más importantes del trabajo, esto es, su justificación, importancia, método experimental (cuando corresponda) y las conclusiones más importantes.

Palabras clave. Estas palabras no deben incluir los mismos términos contenidos en el título. Se colocan a un espacio debajo del resumen al margen izquierdo. El término "palabras clave:" se escribe con letra TIMES NEW ROMAN 11, con cursivas, negritas y las palabras clave con el mismo tipo de letra, cursivas, sin negritas. Ejemplo:

Palabras clave: Rizósfera, agroquímicos.

Summary. Se siguen las mismas normas que para el resumen en español.

Index words. Se seguirán las instrucciones dadas para palabras clave.

Introducción. En esta sección se indica la motivación, la importancia y los objetivos del trabajo que llevan implícitas las hipótesis del mismo. Contiene, además, los aspectos más relevantes del tema tratados por otros autores e identificados en la revisión de literatura. La introducción no debe exceder tres cuartillas a doble espacio.

Materiales y Métodos. Esta sección debe describir las características relevantes de los materiales usados en el estudio y los métodos experimentales empleados. Se le debe dar particular importancia a la descripción del método experimental utilizado para lograr los objetivos planteados. Debe mostrar concordancia plena con las hipótesis.

Resultados y Discusión. Aquí se incluyen los resultados obtenidos en la investigación. Estos se presentarán en forma de texto, cuadros, o figuras, estos últimos no deberán duplicar la información presentada en el texto. La información presentada en cuadros y figuras tampoco deberá duplicarse, e incluirá resultados que puedan ser fácilmente calculables.

En la discusión se resaltarán los principios más importantes y las relaciones causa-efecto derivadas del

análisis de los resultados. Además, se deberá explicar, en función de las observaciones hechas, el porqué de lo observado. Los resultados obtenidos se compararán

con los de otros investigadores y se señalarán las divergencias y las semejanzas.

Conclusiones. Las primeras conclusiones que se presenten deben ser aquellas correspondientes a los objetivos planteados. Se pueden incluir, además, otras conclusiones relevantes y recomendaciones que emanen del trabajo.

Citas en el texto. Las citas en el texto se harán de acuerdo con la forma en que éstas participan en la oración. Se seguirán las siguientes reglas: 1) se citará el apellido principal del(los) autor(es) y el año, cuando se trate de uno o dos autores, y el apellido principal del primer autor seguido de *et al.* y el año cuando se trate de tres o más autores; 2) las citas, cuando más de una, se colocarán en orden cronológico; 3) cuando el nombre del(los) autor(es) participa en la oración se colocará el apellido principal seguido del año entre paréntesis, ejemplo: Martínez (1982) observó que., Carrasco (1983) y Merino (1984) encontraron gran diferencia.; 4) cuando la cita se agrega al final de la oración los nombres de los autores y el año se colocarán entre paréntesis separados por una coma, ejemplo: al final de la cosecha (Martínez, 1982) o (Carrasco, 1983; Merino, 1984) o (Bravo *et al.*, 1979); 5) cuando el autor tiene más de una publicación en un año se adiciona a este a, b, c, ejemplo: (Moreno, 1984a) o (Moreno, 1984b); 6) las comunicaciones personales se citarán sólo en el texto, ejemplo: (R. Nuñez E., 1984 Comunicación personal); 7) Las referencias bibliográficas consultadas en internet, se redactarán de acuerdo a lo enunciado previamente, además de incluir la dirección electrónica y fecha en que se obtuvo la referencia.

Howell, A. T. 2001. Enhancing water use efficiency in irrigated agriculture.

<http://agron.scijournals.org/cgi/content/abstract/93/2/281>

(Consultado 28 mayo 2001)

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

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

Obsérvese que la inicial del nombre propio se ha trasladado al final de los apellidos sólo para el caso del primer autor, y que se ha mantenido la inicial del

segundo apellido y del nombre propio en el lugar que corresponde en el resto de los casos. Es común que los nombres ingleses se escriban con dos nombres personales y un apellido; ejemplo: L.J. Brown, el cual se redactará en caso de ser primer autor como Brown, L.J. y como L.J. Brown, si es coautor.

2. Caso de artículos en una publicación colectiva no periódica con o sin editor, ejemplo:

a) con editor

Turrent F., A. 1984. Los agrosistemas del trópico. pp. 315-328. *In:* E. Hernández X. (Ed.). Los sistemas agrícolas de México, Colegio de Postgraduados, Chapingo, México.

b) sin editor

Cortés F., J. I. 1984. El manejo de los frutales en zonas frías. pp. 181-192. *In:* La fruta y su perspectiva en México. CONAFRUT. Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos. México, D.F.

3. Caso de los boletines técnicos u otras publicaciones seriadas no periódicas, ejemplo:

Clement, H.F. 1952. Factors affecting the growth of sugarcane. Univ. Hawaii Agr. Exp. Sta. Tech. Bull. 18.

4. Caso de los libros, ejemplo:

Jackson, M.L. 1964. Análisis químico de los suelos. Traducción al español de J. Huerta. Editorial Omega, Barcelona, España.

Zamudio H., B. 1970. Las especies latifoliadas del Cono Sur. 2a. edición. Editorial Inca. Lima, Perú.

5. Otras publicaciones, ejemplo:

No se deben incluir referencias de tesis, resúmenes, por ser de difícil acceso o consulta. La lista de citas se confeccionará en orden alfabético, con sangría francesa de 0.6 cm exceptuando el nombre del autor, con tipo de letra TIMES NEW ROMAN 9, sólo se incluirá en ella los trabajos citados en el texto.

Otros Aspectos del Manuscrito

A continuación se dan algunas indicaciones acerca de los cuidados y consideraciones que hay que tomar en cuenta para la elaboración de las figuras, cuadros, mapas, etc. Los cuadros y las figuras se emplean para reemplazar al texto, cuando el contenido de éstos no puede expresarse claramente con palabras o su uso contribuye a un ahorro importante de espacio. Los cuadros y las figuras deben ser claros, simples y concisos. Para ello es necesario seleccionar los datos de modo que se presenten sólo aquéllos que se emplearán para hacer énfasis en algún aspecto o que expliquen otros. Los datos deben ordenarse en una forma tal que sean fáciles de interpretar.

En el pie de cuadro se incluirán las llamadas que sean pertinentes. Los asteriscos se reservarán para indicar significación a 5% (*) y 1% (**), respectivamente. Otras notas serán señaladas con los

siguientes símbolos en orden: †, ‡, §, ¶, #, ††, ‡‡, ..., †††.

Los cuadros deben tener tres líneas horizontales continuas: al inicio del cuadro, al inicio del campo del cuadro (no en el encabezamiento) y al final. El campo y el encabezamiento de las columnas se pueden dividir a conveniencia del autor. No se deben añadir líneas verticales. Los encabezamientos, de columnas y líneas, se describirán con minúsculas, excepto la primera letra de la oración. Las unidades se colocan debajo de la segunda línea horizontal. Se empleará sólo el número de cifras significativas necesarias para destacar el punto que se desee. Los cuadros no podrán ser mayores que una página tamaño carta, considerando los márgenes antes señalados.

Los mapas y las figuras deben imprimirse sobre papel dibujo de buena calidad así como no exceder las dimensiones de una página tamaño carta. La leyenda debe ser con letras y números lo suficientemente grande (con minúscula excepto la primera letra), como para que puedan leerse al ser reducidos, al igual que el grosor de los ejes y líneas interiores. En una figura lo que interesa destacar es el contenido y no los ejes. Consecuentemente, el grosor de estos últimos tiene

que ser menor que el de las líneas interiores. Los puntos experimentales deben marcarse visiblemente. Para dividir los ejes se deben escoger intervalos constantes para cada uno.

Los mosaicos fotográficos deben entregarse montados en hojas de papel, totalmente terminados, con leyenda y numeración. El aumento de las microfotografías debe indicarse en la leyenda.

Agradecimientos. Podrán incluirse al final del texto, esto es, después de las conclusiones y antes de la literatura citada.

Información Adicional.

Para mayor información sobre la preparación de manuscritos se recomienda consultar las notas que nuestro editor de estilo publica periódicamente en la revista y el libro Alvarado López, J. 2000. Redacción y preparación del artículo científico. Segunda edición. Publicación especial 11. Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo A.C. México, Colegio de Postgraduados - Agrociencia.

Noviembre de 2001.

TERRA

Journal of the Mexican Society of Soil Science

Instructions to Authors

SUBMISSION OF MANUSCRIPTS

Submission of manuscripts for publication should be sent in triplicate to:

Editorial Office of Terra
Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo, A.C.
Apartado Postal 45
56230 Chapingo, Edo. de Mexico, Mexico.
Fax: +52 (595) 95 4 80 76
e-mail: smcs@taurus1.chapingo.mx

Upon receipt of a manuscript the authors will receive the file number of their paper. This number should be quoted in all correspondence. Papers already published, or under consideration elsewhere cannot be accepted.

TYPE OF MANUSCRIPT

The Journal welcomes concise papers presenting original research findings from authors throughout the world, making a significant contribution to the advancement of knowledge of existing soil science concepts. The Journal publishes papers of topics related to Soil Science, Water Management and Environmental Sciences. The contributions may be Scientific Papers, Research Notes and Critical Reviews. The Journal publishes also Letters to the Editor and Book Reviews.

Scientific Papers must be generated from original research in which the scientific method was implemented to accept or reject a given hypothesis.

Work based on limited experimentation will not generally be acceptable.

Work of local interest only is not considered appropriate for this International Journal.

Research Notes are articles based on experimental work that presents new methodological aspects or important results that the author wants to publish before the research project is completed.

Critical Reviews are articles in which the author reports the State of the Art about a given topic of interest to the scientific community, based on the published literature, establishing some conclusions regarding the analysis of the published data.

MANUSCRIPT

The manuscripts should be provided with a **title page**, containing the title typed in uppercase letters, centered, in English and Spanish; author(s) name(s) and affiliation(s) and including a complete address for correspondence (e-mail). A short title not exceeding 40 characters must be provided for the running headlines. Manuscripts should be typed in double space, with at least 4-cm margin on the left.

Scientific Papers and Research Notes should be divided into the following sections: 1) **Summary** in English and Spanish, not exceeding 250 words for scientific papers and 150 words for research notes; 2) **Index words**, include up to nine; 3) **Introduction**, which should set the work in context, presenting the essential background and including a concise statement of the objectives; 4) **Material and Methods**, indicating relevant details of the experimental methods and design, the techniques and statistical methods used in the study, so that the results can be judged for validity and so that previous experiments may serve as a

basis for the design of future experiments. It is highly recommended to describe the soil type and characteristics in which the experiment was conducted; 5) **Results and Discussion**, indicating numerical results in tables or figures and should not be repeated in the text. All statements should be based on proof and not supposition, and should be supported with statistical analysis, i.e. Standard Error and Degrees of Freedom, Least Significant Difference, and Multiple Range Test. The level of significance should be indicated in the text and tables. Discussion should briefly relate the author's results of other works on the subject and give the author's conclusion; 6) **Acknowledgments** and 7) **References**.

STYLE

The acceptable languages are Spanish, English and French. For plants, insects and pathogens give the Latin binomial name (in Italics) at first mention and do not include them in the title, but in the summary. The International System of Units is required. Follow Chemical Abstracts and its indexes for chemical names. Give cation exchange capacity in mmol kg^{-1} . For ppm use mg kg^{-1} or mg L^{-1} . Use kg ha^{-1} or t ha^{-1} . For time units use min, h, d, month (abbreviate to three letters, i.e. Jan, Feb). A zero must always precede a decimal point e.g. 0.24. All abbreviations must be explained at first mention in the text. The use of asterisks is reserved to indicate statistical significance *($P < 0.05$), **($P < 0.01$), ***($P < 0.001$)

MANUSCRIPTS ON DISK

The original manuscript should always be sent on paper. After acceptance, the submission of the final version must be on disk, formatted for use on windows based computers. Text and figures should be in separate files in the same disk. An accompanying printout including text, tables and figures should also be provided. Word software is preferred.

Headings should be used in dividing and subdividing the paper e.g.

First-order headings: Centered, boldface type and uppercase letters Times New Roman 14. Reserved for the main title of the paper.

Second-order headings: Centered, boldface type and uppercase letters. Times New Roman 11. Used

for the different parts of the manuscript i.e. Introduction.

Third-order headings: Against left margin, bold face type and first letter of each word in uppercase letter.

Fourth-order headings: In the paragraph. Lowercase letters except the first one, boldface type.

TABLES

These must be typed on separate sheets, numbered consecutively with Arabic numerals, in the same order as they are mentioned in the text. Tables are always printed in a small letter type and should be provided with descriptive headings. All column headings should begin with a capital letter. Table notes should be referred to by superscript: †, ‡, §, ¶, #, ††, †††. When preparing the tables it should be considered that they could be printed in one column (85 mm) or two columns (180 mm). Tables must have three horizontal solid lines: one at the beginning of the table, the second at the beginning of the field and the last one at the end of the table. No vertical lines are allowed. All tables must present statistic parameters to do the appropriate comparisons.

FIGURES

These can be photographs, graphs, charts or diagrams, and as tables; they must be presented on separate sheets. Figures may not reproduce the same matter as tables. Originals of figures must be provided of good quality, drawn or printed clearly in black on white. There should be no numbering or lettering on the originals but in the copies. Label each figure on the back with its number and the title of the article. Vertical axes should be labeled vertically. Keep in mind that the final reduced size is 9-point type for numbers on the axis scale, 10 to 11 points for the axis labels and 7 to 8 points for inside legends. A typewritten, double-spaced list of legends of all figures must be supplied. Each legend should contain sufficient explanation to be meaningful without cross-referencing, giving a key to all the symbols on it. The preferred symbols are ○● □■ ▲▲, Standard Errors of the means are strongly recommended to be included in the figures.

LITERATURE CITED

In the text the references should be quoted by the author's last name followed by the year and in date order, e.g. (Laird, 1990; Pratt and Adriano, 1993; Jensen *et al.*, 1995) or Follett (1991). The list of references should be provided at the end of the text, listing in alphabetical order, surname of first author and initials, initials and surname of following authors, year of publication, title of the paper, name of the journal in abbreviation, volume, and first and last page, e.g.:

Flach, K.W., W.D. Nettleton, and O.A. Chadwick. 1992. The criteria of duripans in the US soil taxonomy and the contribution of micromorphology to characterize silica indurated soils. *Terra* 10: 34-45.

Gojjberg, G. and A. Aguilar-Santelises. 1985. pH del suelo y necesidades de cal. pp. 17-24. *In*: A. Aguilar-Santelises, J.D. Etchevers, J.Z. Castellanos (eds.). Análisis químico para evaluar la fertilidad del suelo. Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo. Publicación Especial 1. Chapingo, Mex.

Ryan, T.P. 1989. Statistical methods for quality control. John Wiley & Sons, New York.

Thompson, T.L. and T.A. Doerge. 1996. Nitrogen and water interactions in subsurface trickle irrigated leaf lettuce. II. Agronomic, economic, and environmental outcomes. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 60: 168-173.

Smith, P. G., and T. Jones. Title of article (abstract). *JASH* 4(3):54-59, <http://asae.frymulti.com> accessed 9 Aug. 2000.

The list of references should be typed in double space throughout.

PROOFS

The proofs will be sent to the authors to enable them to check correctness of the typesetting. They should be handled promptly and returned to the editorial office. No changes other than corrections should be made.

PAGE CHARGES AND OFFPRINTS

There will be 50 USD page charges. Twenty-five offprints of each paper are supplied free of charge to the corresponding author. Additional copies can be ordered at current printing prices.

November 2001