

ISSN 0187 - 5779

TERRA

OCTUBRE - DICIEMBRE DE 1998 · VOLUMEN 16 · NUMERO 4



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

TERRA

SOCIEDAD MEXICANA DE LA CIENCIA DEL SUELO A.C.

MESA DIRECTIVA 1997-1999

Presidente

Vicepresidente

Secretario General

Tesorero

Secretario Técnico

Secretario de Relaciones Públicas

Secretario de Eventos Nacionales

e Internacionales

Vocal

Vocal

Dr. Víctor M. Ordaz Chaparro

M.C. José Cisneros Domínguez

Dr. Prometeo Sánchez García

Dr. Fernando de León González

Dra. Edna Álvarez Sánchez

M.C. Ricardo Torres Cossío

M.C. Francisco Gavi Reyes

Biól. Rogelio Oliver Guadarrama

M.C. Gaspar Romero Hernández

EDITOR EN JEFE

EDITOR ADJUNTO

EDITORES TÉCNICOS

Dr. Andrés Aguilar Santelises

Dr. Javier Z. Castellanos

Dr. Gabriel Alcántar González

Dr. Víctor M. Ordaz Chaparro

Dr. Juan José Peña Cabrales

Dr. Xavier X. Uvalle Bueno

Dra. Edna Álvarez Sánchez

M.C. Jorge Alvarado López

EDITOR DE ESTILO

DIVISIONES Y DISCIPLINAS

División I: Diagnóstico, Metodología y Evaluación del Recurso Suelo

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

División II: Relación Suelo - Clima - Biota

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

División III: Aprovechamiento del Recurso Suelo

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

División IV: Educación y Asistencia Técnica

- Educación
- Crédito y Asistencia Técnica

TERRA registro en trámite.

Órgano Científico de la Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo A.C.
Octubre - Diciembre de 1998 Volumen 16 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: +(595) 4 60 24 **Fax:** +(595) 4 80 76

EQUIPO EDITORIAL ADMINISTRATIVO

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

Diseño de portada

EDITORES ASOCIADOS NACIONALES

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

EDITORES ASOCIADOS INTERNACIONALES

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

TERRA

OCTUBRE - DICIEMBRE DE 1998 • VOLUMEN 16 • NUMERO 4

DIVISION I

- 293 Estimación de la sorbilidad e infiltración usando datos de simulación de lluvia para tres tipos de suelos de la zona semiárida de México.
Esteban S. Osuna Ceja y J.S. Padilla Ramirez
- 303 Localización de capas compactadas en el perfil del suelo mediante penetrometría.
De León González, F., Payán Zelaya, F. y S. Sánchez R.
- 309 Algunos usos de la inducción electromagnética en el estudio de los suelos salinos.
Jean-Olivier Job, Miguel Rivera González y José Luis González Barrios

DIVISION II

- 317 Efecto de algunos nutrimentos en plantas de chile de agua infectadas con virus.
Vicente Arturo Velasco Velasco, Antonio Trinidad Santos, Juan Luis Tirado Torres, Daniel Téliz Ortiz, Angel Martínez Garza y Mateo Cadena Hinojosa
- 325 Análisis de riesgo en agricultura de secano.
José Dimas López Martínez, Juan F. Pissani Zuñiga y Francisco Zavala García
- 331 Comparación de genotipos de maíz bajo condiciones deficientes de humedad en el suelo.
José Dimas López Martínez y Enrique Salazar Sosa

DIVISION III

- 337** Uso y productividad de la mano de obra en unidades familiares de producción del trópico húmedo de México, con productores participantes y no participantes en el desarrollo y adaptación de innovaciones tecnológicas.
Camacho Castro, René, Turrent Fernández, Antonio, Cortés Flores, José Isabel, Díaz Cisneros, Heliodoro
- 351** Características agronómicas del frijol asociadas a la capacidad de fijación de N_2 en el centro de México.
J.Z. Castellanos, J.J. Peña-Cabriales, V. Badillo, A. Aguilar-Santelises, J.A. Acosta-Gallegos y A. Rodríguez-Guillén
- 359** Frijol terciopelo, cultivo de cobertura en la agricultura Chol del valle del Tulija, Chiapas, México.
Luciano Pool Novelo, Noé S. León Martínez, Carmen González Santiago y Patricia Figueroa Fuentes
- 371** Análisis de sensibilidad de un modelo predictivo distributivo de producción de sedimentos y nutrientes asociados (AGNPS), en una microcuenca del arroyo del Tala, Argentina.
Massobrio M.J., Castiglioni M.G., Chagas C.I., y Santanatoglia O.J.

Indice de autores	379
Revisores	380
Normas para publicación	381

TERRA

MEXICAN SOCIETY OF SOIL SCIENCE

President	Dr. Víctor M. Ordaz Chaparro
Vicepresident	M.C. José Cisneros Domínguez
Secretary	Dr. Prometeo Sánchez García
Treasurer	Dr. Fernando de León González
Technical Adviser	Dra. Edna Alvarez Sánchez
Public Relations	M.C. Ricardo Torres Cossío
National and International Event	
Secretary	Dr. Francisco Gavi Reyes
Voter	Blól. Rogelio Oliver Guadarrama
Voter	M.C. Gaspar Romero Hernández

DIVISIONS AND DISCIPLINES

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

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

Division II: Soil - Climate - Biota Relationship

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

Division III: Use of the Soil Resource

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

Division IV: Education and Technical Assistance

- a) Education
- b) Credit and Technical Advise

TERRA Registration pending
Scientific publication of the Mexican Society of Soil Science
October - December, 1998 Volume 16 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: +(595) 4 60 24 Fax: +(595) 4 80 76

EDITOR-IN-CHIEF
ASSOCIATE EDITOR
TECHNICAL EDITORS

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

STYLE 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. José Luis Oropeza Mota
M.C. Carlos Ortiz Solorio
Dr. Alejandro Velázquez Martínez
Dr. Enrique Palacios Vélez
Dr. Oscar L. Palacios Vélez
Dr. Benjamín V. Peña Olivera
Dr. Antonio Turrent Fernández

INTERNATIONAL ASSOCIATE EDITORS

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

TERRA

OCTOBER - DECEMBER, 1998 • VOLUME 16 • NUMBER 4

DIVISION I

- 293 Sorptivity and infiltration determination using data from a rainfall simulation in three soil types of the semiarid region of Mexico.
Esteban S. Osuna Ceja and J.S. Padilla Ramirez
- 303 Identification of soil compacted layers using a cone digital penetrometer.
De León González, F., Payán Zelaya, F., and S. Sánchez R.
- 309 Some uses of electromagnetic induction for the study of saline soils.
Jean-Olivier Job, Miguel Rivera González, and José Luis González Barrios

DIVISION II

- 317 Effect of some nutrients on 'chile de agua' plants infected with virus.
Vicente Arturo Velasco Velasco, Antonio Trinidad Santos, Juan Luis Tirado Torres, Daniel Téliz Ortiz, Angel Martínez Garza, and Mateo Cadena Hinojosa
- 325 Risk analysis in dry land agriculture.
José Dimas López Martínez, Juan F. Pissani Zuñiga, and Francisco Zavala García
- 331 Comparison of maize genotypes under deficient soil moisture conditions.
José Dimas López Martínez and Enrique Salazar Sosa

DIVISION III

- 337** Use and productivity of labor force in family production units of the humid tropics of Mexico, with participating and non-participating small farmers in the development and adaptation of technological innovations.
Camacho Castro, René, Turrent Fernández, Antonio, Cortés Flores, José Isabel, and Díaz Cisneros, Heliodoro
- 351** Agronomic traits of common beans associated to the N₂ fixation capacity in Central Mexico.
J.Z. Castellanos, J.J. Peña-Cabriales, V. Badillo, A. Aguilar-Santelises, J.A. Acosta-Gallegos, and A. Rodríguez-Guillén
- 359** Velvet bean, cover crop in Chol agriculture from Tulija Valley, Chiapas, Mexico.
Luciano Pool Novelo, Noé S. León Martínez, Carmen González Santiago, and Patricia Figueroa Fuentes
- 371** Sensitivity analysis of a distributed predictive model of sediment and associated nutrients production (AGNPS), in a microbasin of the river Tala, Argentina.
Massobrio M.J., Castiglioni M.G., Chagas C.I., and Santanatoglia O.J.

Authors index	379
Reviewers	380
Publication rules	381

ESTIMACION DE LA SORBILIDAD E INFILTRACION USANDO DATOS DE SIMULACION DE LLUVIA PARA TRES TIPOS DE SUELOS DE LA ZONA SEMIARIDA DE MEXICO

Sorptivity and Infiltration Determination Using Data from a Rainfall Simulation in Three Soil Types of the Semiarid Region of Mexico

Esteban S. Osuna Ceja¹ y J.S. Padilla Ramirez²

RESUMEN

La infiltración del agua en el suelo juega un papel de primer orden en la relación lluvia-escorrentamiento y, por lo tanto, es de fundamental importancia describirla utilizando diversos parámetros que puedan ser usados como elementos de entrada a los modelos hidrológicos. Con este propósito se realizó un análisis para determinar y evaluar bajo condiciones de campo algunos parámetros que fueron comúnmente coeficientes de ecuaciones, que explican la infiltración acumulada o la tasa de infiltración básica. El estudio se llevó a cabo en tres tipos de suelos de la región semiárida de México. Simultáneamente este estudio proporcionó información sobre la relación que existe entre el parámetro A de la ecuación de Philip y la conductividad hidráulica determinada en campo. La ecuación de Philip fue reordenada como sigue: $I - CK_r = 0.5 S_0 t^{-0.5}$, donde I es la tasa de infiltración, S_0 la sorbilidad, t el tiempo, K_r la tasa de infiltración final medida en campo y C un coeficiente que relaciona a la K_r con el parámetro A de la ecuación de Philip. La infiltración básica medida en campo fue considerada como el valor de K_r . Mediante un análisis de regresión entre $I - CK_r$ vs $0.5t^{-0.5}$, se determinó el valor óptimo de C para cada tipo de suelo y condición inicial de humedad el cual varió de 0 a 1 y se determinó el valor de S_0 . Para los suelo bajo estudio, los valores del coeficiente C regularmente estuvieron fuera del rango sugerido de 0.33 a 0.67 y fueron diferentes la mayoría de las veces en cada suelo estudiado. La regresión también mostró que el valor de S_0 puede ser altamente sensible a los cambios de C. Usando los valores de S_0 y C determinados en este estudio, se hizo comparación entre la tasa de infiltración estimada y la observada en campo. Los

resultados indican que el método de estimación proporciona un ajuste adecuado y que la selección de un valor apropiado del factor C es importante en la determinación de los parámetros de infiltración con datos de campo.

SUMMARY

Water infiltration has an important role in the relationship rainfall-runoff. Thus, it is fundamental to describe it using several parameters that may be used as input elements in the hydrological models. With this purpose, a study was conducted under field conditions to determine and to evaluate some parameters commonly used as coefficients in equations that explain the accumulated infiltration or the rate of the basic infiltration. The study included three soil types of the semiarid highlands of the northern region of Mexico. This study also gave information about the relationship between the parameter A of the Philip equation and the hydraulic conductivity determined on the field. The Philip equation was reordered as follows: $I - CK_r = 0.5 S_0 t^{-0.5}$, where I=infiltration rate; S_0 =sorptivity; t=time; K_r =rate of basic infiltration measured in the field; and C=a coefficient that relates K_r with the parameter A of the Philip equation. The rate of basic infiltration measured in the field was considered as the value of K_r . The optimum C value for each soil type as well as the previous soil moisture content were determined using regression analysis. The C value ranged from 0 to 1. The S_0 value was also determined. The soil types evaluated had C values out of the suggested range (0.33 to 0.67) and they were different most of the times from each other. The regression analysis also showed that the S_0 value may be highly sensitive to changes of the C value. The determined values of C and S_0 were used to compare the predicted infiltration rate with the observed infiltration in the field. The results showed that this prediction method gave a reasonable fit and that the selection of an

¹ Programa de Conservación de Suelo, Campo Experimental "Pabellón", CEPAB Aguascalientes, INIFAP.

² Programa de Relación Agua-Suelo-Planta, Campo Experimental "Pabellón", CEPAB Aguascalientes, INIFAP.

appropriate C value is important in the determination of the infiltration parameters using field data.

INTRODUCCION

En las zonas áridas y semiáridas del norte-centro de México, los fenómenos de escurrimiento superficial, erosión hídrica y producción de sedimentos se atribuyen tanto a las características propias de la lluvia como a las propiedades físicas de los suelos relacionadas con el flujo del agua sobre y dentro de éstos. La interacción entre las variables anteriores y la modificación de las propiedades del suelo por efecto de la lluvia, determinan aspectos fundamentales que se relacionan con las pérdidas de suelo, lámina y volumen de escurrimiento, tiempo de concentración, tiempo de inicio de escurrimiento y producción de sedimentos.

Así, se habla de que el escurrimiento superficial se atribuye a la formación de una costra sobre la superficie, cuyo espesor es aproximadamente un milímetro y que se origina por la acción combinada de la energía cinética, caída de la gota de lluvia y el efecto dispersivo de lluvia virtualmente desprovista de electrólitos (McIntyre, 1958; Agassi *et al.*, 1981).

Desde luego, que existe una relación muy estrecha entre el escurrimiento superficial y la infiltración, capacidad de almacenamiento de agua en el suelo y la distribución de la intensidad de la lluvia durante una tormenta en particular. En condiciones normales, el escurrimiento se genera cuando la intensidad de la lluvia es mayor que la velocidad de infiltración. Previo a esto, o desde el momento de su intervención con la superficie de la gota de lluvia, se presenta erosión por salpicado. Adicionalmente, el escurrimiento presenta una capacidad de desprendimiento y transporte de las partículas sólidas a cuya acción el suelo responde con una resistencia en función del "Status" de sus propiedades físicas.

De esta manera, se conceptualiza la importancia de estudiar todas las interacciones entre el suelo y la lluvia, ya que así podremos conocer aspectos relacionados con la hidrología de superficie, flujo de agua en el suelo y proceso de erosión hídrica, así como la dinámica de las propiedades físicas del suelo que se relacionan con lo anterior.

El objetivo de este estudio es estimar la sorbilidad e infiltración para tres tipos suelos de la zona semiárida del norte-centro de México, mediante la reordenación de la ecuación de infiltración de Philip. El estudio considera los siguientes criterios de prueba:

(i) elección de los parámetros con especial énfasis en su dependencia del tiempo, (ii) aplicabilidad con fines productivos.

REVISION DE LITERATURA

Es frecuentemente deseable describir la infiltración del agua en el suelo con el menor número de parámetros que puedan ser usados como elementos de entrada en los modelos hidrológicos. Estos parámetros son comúnmente el coeficiente de las ecuaciones algebraicas de infiltración, que describen la infiltración acumulada o la velocidad de infiltración, para un tiempo determinado. Philip (1957a) demostró que una ecuación compleja de infiltración puede ser expresada por una más simple, rápidamente convirtiendo series de potencia en $t^{1/2}$. Considerando los primeros dos términos de esta serie, la ecuación de infiltración puede escribirse de la siguiente forma:

$$i = S_0 t^{0.5} + At \quad (1)$$

donde i es la infiltración acumulada (L) y t (no es muy grande) es el tiempo desde el inicio del encharcamiento en un suelo uniforme (T) (Philip, 1957b). En esta ecuación, S_0 es la sorbilidad ($LT^{-0.5}$) y A es una constante reflejando una velocidad estable esencialmente para tiempos largos.

Una dificultad en el uso de la ecuación de Philip es la incertidumbre en la estimación del parámetro A . Philip (1969) encontró que esta ecuación es inapropiada para experimentos en tiempos largos debido a que el límite $di/dt=K_0$ cuando t se aproxima al infinito donde K_0 es la conductividad hidráulica saturada del suelo. Sin embargo, A no puede ser igual a K_0 particularmente en tiempos cortos o intermedios, y no hay una relación analítica general entre los dos parámetros (Smiles y Knight, 1976, Collis-George, 1977). Este problema ha sido discutido por diversos investigadores entre los que se pueden mencionar Smettem y Clothier (1989), Ankeny *et al.* (1991) y Reynolds y Elrick (1991).

Por otro lado, varios investigadores han relacionado empíricamente A con K_0 . Talsma (1969), usando datos de infiltrómetros, encontró que $A=0.36K_0$. No obstante, la comparación de dos términos de la ecuación de Philip con la ecuación de Green y Ampt sugieren que $A=0.67K_0$ (Youngs, 1968). Whisler y Bouwer (1970) calcularon sorbilidad con la ecuación de Philip usando varias relaciones

entre A y la conductividad hidráulica del suelo. La más adecuada para la infiltración acumulada fue obtenida cuando $A=0.75K_r$, donde K_r , es la conductividad hidráulica del frente de la zona húmeda que no puede ser igual a K_0 .

Para determinar los parámetros de S_0 y A de la ecuación de Philip, se pueden usar técnicas de mínimo cuadrados que, frecuentemente, resultan en valores negativos de la constante A (Skaggs *et al.*, 1969; Jaynes y Gifford, 1981). Por lo tanto, el uso de la ecuación de Philip con parámetros que han sido determinados por regresión pueden causar estimaciones de velocidad de infiltración, que serán bajas para tiempos más grandes que la duración de la prueba experimental (Watson, 1959; Skaggs *et al.*, 1969). Por lo que es necesario una técnica diferente para estimar estos parámetros.

En varios estudios el valor de A fue calculado como $0.33K_0$, donde K_0 fue determinada de la velocidad de infiltración básica medida en campo después de una hora o más (Sharma *et al.*, 1980; Chong, 1983). La velocidad de infiltración fue entonces calculada usando valores de sorbilidad medida en campo, o fue calculada de simples ecuaciones algebraicas. Sin embargo, medidas independientes de K_0 , indican que la velocidad de infiltración básica medida en el campo no es igual a la conductividad hidráulica saturada (Whisler y Bouwer, 1970; Sharma *et al.*, 1980), y por lo tanto A no puede ser igual a $0.33K_0$.

La sorbilidad es un parámetro del suelo que se ha utilizado recientemente para caracterizar el arreglo de las unidades estructurales en el mismo. En términos físicos significa la entrada de agua en el suelo por efecto del potencial mátrico del suelo y sin que tenga efecto la gravedad (Clothier y White, 1981; Lupercio, 1991; Carter y Steed, 1992; Warrick y Broadbridge, 1992).

La sorbilidad, al reflejar la influencia del matriz del suelo en el movimiento del agua, influye en la infiltración inicial, tal como lo menciona Philip (1957b), y correspondiente al primer término de su ecuación, que se calcula usando una serie de potencia, como ya se mencionó anteriormente. Por lo tanto, la sorbilidad de un suelo estable y uniforme depende del potencial de presión inicial del suelo, el potencial al que se suministra el agua de una manera general de las características hidrodinámicas del suelo, tales como la difusividad hidráulica, $D(O)$ o conductividad hidráulica, $K(O)$ y su curva característica de humedad, $T(O)$. Se puede considerar a la sorbilidad

de cada suelo como una medición integral de las propiedades hidráulicas del mismo (Clothier y White, 1981; White y Perroux 1987; Ogden *et al.*, 1997).

En varios estudios realizados se ha comprobado que la sorbilidad depende del tamaño de la muestra y que es una función de la geometría de las grietas (Clothier y White, 1981). Los análisis indicaron que mediante la medición de la sorbilidad en un rango de presiones se puede obtener información sobre la distribución de los macroporos. Esta información es superior a la obtenida usando la curva característica de humedad o técnica micromorfológicas ya que mediante el uso de la sorbilidad se tendría información y conocimiento sobre la continuidad de los poros además de su distribución.

Por lo anterior se puede entonces comparar el valor de sorbilidad obtenida usando agua libre en la determinación de sorbilidad (equivalente a una prueba bajo humedecimiento rápido) y agua bajo un rango de presiones (equivalente a una prueba bajo humedecimiento lento). Los valores obtenidos usando estos dos métodos se pueden combinar con el índice de estabilidad de la estructura del suelo. Por otro lado también la sorbilidad puede usarse para estimar los tiempos de almacenamiento incipiente, con los cuales se pueden generar estimaciones del potencial de escorrentía de un suelo (Clothier y White, 1981).

MATERIALES Y METODOS

La información con base en este estudio es: intensidad de lluvia (R), conductividad hidráulica (K_r), con el parámetro A de la ecuación de Philip y la tasa de infiltración (I). Los valores de R , K_r y C se utilizan en el análisis para estimar sorbilidad y tiempo de encharcamiento incipiente utilizados para estimar el potencial de escorrentía de los suelos bajo estudio. La infiltración acumulada (I_m) fue usada para evaluar la sorbilidad en la estimación de infiltración.

Los datos para este estudio se tomaron de Osuna (1987; 1990) y Barrón (1988). Las investigaciones se desarrollaron en la zona semiárida del norte-centro y sur de Jalisco, México; en tres diferentes tipos de suelo los cuales, de acuerdo con DETENAL (1971), corresponden a los grupos del Planosol (We), Cambisol (Bh) y Vertisol (Vp), cuyas características físico-químico se presentan en el Cuadro 1, respectivamente.

Estos suelos fueron laboreados con un paso de arado de disco y un paso de rastra de disco (labranza convencional).

Cuadro 1. Características físico-químicas de la capa arable (0 a 25 cm) de los suelos estudiados.

Características	Cambisol	Planosol	Vertisol
Arena (%)	74.52	54.36	24.0
Arcilla (%)	8.94	19.1	61.4
Limo (%)	16.54	26.54	14.6
Textura	Migajón arenoso	Migajón arenoso	Arcilloso
CC (%)	15.7	22.0	35.4
PMP (%)	7.8	9.1	13.7
Saturación (%)	23.5	26.0	48.5
Densidad aparente (g cm ⁻³)	1.42	1.35	1.20
Dr. (g cm ⁻³)	2.55	2.65	2.65
Conductividad eléctrica (dS m ⁻¹)	0.011	0.90	0.55
pH	7.35	6.30	7.70
Materia orgánica (%)	1.20	0.75	3.20
CIC (meq/100g)	42.40	43.5	45.8
K (meq/100g)	2.2	2.4	1.2
Ca (meq/100g)	16.50	18.5	44.6

En esta condición inicial de estructura del suelo, fueron conducidos experimentos de simulación de lluvia aplicada a pequeños lotes de 1.25 m². Usando un simulador de lluvia tipo Morin, se aplicaron de 1 a 14 eventos de lluvias respectivamente con una intensidad de 80 mm h⁻¹. El efecto del contenido inicial en el suelo sobre la infiltración fue determinado para conducir las aplicaciones de lluvia, éstas se aplicaron a intervalos de 24 h después de iniciada la simulación de lluvia. El término de condición de suelo: seco, húmedo o saturado fue usado en este estudio para describir las tres condiciones iniciales de humedad. Cada unidad de suelo y condición inicial y de humedad serán referidos como un tratamiento en la secuencia de análisis.

En este estudio, R fue calculada de la lluvia total P , dividida por el tiempo total de aplicación de lluvia T , y expresada en mm h⁻¹. La velocidad de infiltración fue determinada a partir de la diferencia entre la intensidad de la lluvia y escurrimiento presentado en cada evento de lluvia. Para determinar la infiltración básica, los datos de velocidad de infiltración fueron graficados contra tiempo de todas las lluvias aplicadas para todos los casos, y se calculó el promedio aritmético de los tres últimos valores de la velocidad de infiltración básica. Estos valores correspondieron a la porción de la curva de velocidad de infiltración donde la infiltración se hace constante. La infiltración acumulada (I_m) fue obtenida de la diferencia entre P y escurrimiento Q .

Para estimar los parámetros de la ecuación de Philip (Ecuación 1), se reordenó de la siguiente manera:

$$I - CK_f = 0.5 S_0 t^{-0.5} \quad (2)$$

Donde I es la velocidad de infiltración (LT⁻¹) K_f es la conductividad hidráulica saturada medida en campo, y C es un coeficiente que relaciona a K_f con el parámetro A de Philip. La velocidad de infiltración básica determinada de los datos promedio fue usada como estimador de K_f . Lo anterior supone un gradiente hidráulico con profundidad en el perfil durante las mediciones de infiltración final. Por esta razón, las lecturas fueron continuas hasta que la velocidad de escurrimiento fue constante para varios intervalos de tiempo. Este método es discutido ampliamente por Chong y Green (1979). Usando valores de C con rango de 0 a 1, un análisis de regresión de $I - CK_f$ vs $0.5t^{-0.5}$ fue realizado para cada uno de los eventos de lluvia simulados. La sorbilidad fue calculada para cada uno de los eventos de lluvia como la pendiente de la mejor línea ajustada. El valor óptimo de C fue seleccionado utilizando el criterio del cuadrado medio del error total para todos los análisis de regresión y para cada tratamiento. Esto proporcionó un valor óptimo de K_f para A en cada tipo de suelo y condición inicial de humedad así como la mejor estimación de sorbilidad para cada uno de los eventos de lluvia simulada.

RESULTADOS Y DISCUSION

En el Cuadro 2 se presentan los valores óptimos de C y los valores medios de S_0 y K_f para cada uno de los tipos de suelo y condiciones iniciales de humedad estudiados. En este cuadro se puede observar que los valores óptimos de C son diferentes para suelos de diferentes génesis y condición inicial de humedad, especialmente para el Vertisol y la mayoría de las veces este parámetro está fuera del rango de 0.33 a 0.67 sugerido por otros autores (Youngs, 1968; Sharma *et al.*, 1980; Chong, 1983). Esto demuestra que el factor C debería ser determinado separadamente para cada unidad de suelo que se estudie.

Las diferencias que se observan en el factor C entre tipo de suelo y condiciones iniciales de humedad pueden ser parcialmente explicadas por medio de la ecuación: $I - CK_f = 0.5S_0t^{-0.5}$

No obstante, es importante mencionar que la tasa de infiltración en la mayoría de los casos estuvo

Cuadro 2. Valores óptimos de C, valores medios y error estándar para la sorbilidad (S_o) y la tasa de infiltración final (K_f) para tres tipos de suelo bajo diferentes condiciones iniciales de humedad.

Unidad de suelo	Condiciones iniciales de humedad†	Humedad inicial (0-10)	Número de repeticiones	C	S_o cm h ^{-0.5}	K_f cm h ⁻¹
Be	S	4.81	3	0.90	1.61 (0.45)‡	13.26 (0.56)
	H	15.52	6	0.85	1.00 (0.20)	6.95 (1.23)
	Sa	23.48	4	0.90	0.69 (0.08)	5.75 (0.01)
We	S	9.10	4	0.90	1.30 (0.17)	8.80 (1.84)
	H	21.0	6	0.88	0.86 (0.14)	7.77 (1.81)
	Sa	26.0	6	0.90	0.68 (0.19)	5.45 (1.63)
Vp	S	9.08	2	0.90	4.14 (0.28)	13.92 (1.19)
	H	23.58	2	0.30	3.51 (0.54)	6.59 (0.20)
	Sa	35.47	2	0.75	2.10 (0.33)	5.07 (1.32)

Be = Cambisol eútrico, We = Planosol eútrico, Vp = Vertisol pélico.

† S = Seca; H = Húmeda y Sa = Saturada.

‡ El valor entre paréntesis es el error estándar.

altamente controlada por la conductividad hidráulica final (K_f), por lo tanto, los valores de C son altos, excepto en el suelo arcilloso (V_p) bajo la condición inicial de humedad. La tasa de infiltración no estuvo tan fuertemente controlada por K_f , por lo que el valor de C es relativamente bajo.

También puede observarse en el Cuadro 2, que los valores de S_o y K_f varían entre suelos y para cada suelo dependen de la condición inicial de humedad. El análisis de varianza mostró diferencia significativa ($P=0.01$) en sorbilidad (S_o) para suelos y condiciones iniciales de humedad, mientras que para la conductividad hidráulica final (K_f) hubo diferencias estadísticas significativas ($P=0.05$) para suelos y condición inicial de humedad. Los errores estándar de las estimaciones de S_o y K_f fueron ligeramente más alto para el Vertisol y Planosol que para el suelo Cambisol. Aunque hubo hasta seis repeticiones en el Planosol y Cambisol, la tasa de infiltración fue más alta que la tasa de aplicación de lluvia para dos eventos en ambos tipos de suelo en la condición inicial de humedad seca, es decir, no hubo escurrimiento en estos lotes, por lo que S_o y K_f no se pudo estimar.

La Figura 1 muestra la relación que existe entre $1 - CK_f$ vs $0.5t^{-0.5}$ para un evento de simulación de lluvia en la unidad de suelo Planosol eútrico, bajo condición inicial húmeda. La línea sólida representa el

mejor ajuste con intercepto cero, se trazó la línea y sus límites de confianza al 95 % de probabilidad, así mismo se graficaron los puntos de los datos experimentales, para un valor de $C=0.80$. Dicho valor proporcionó el cuadrado medio del error más bajo para este tipo de suelo, por lo que fue

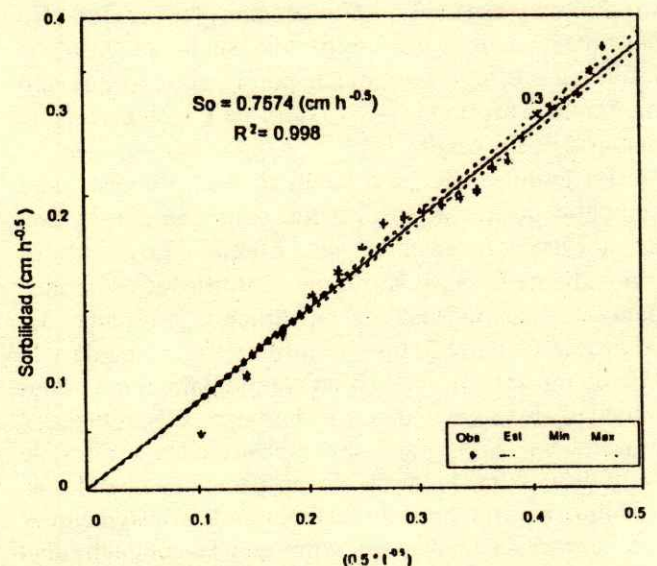


Figura 1. Estimación de la sorbilidad por medio de la infiltración acumulada ajustada ($1 - CK_f$) y la raíz cuadrada del tiempo ($0.5 \cdot t^{-0.5}$) para un evento de lluvia aplicada a un suelo húmedo; $C = 0.80$.

considerado el valor óptimo para este caso. La ecuación $I - CK_r$ vs $0.5t^{-0.5}$ estima la infiltración en forma aceptable para tiempos cortos ($0.5t^{-0.5}$), y la sobrestimó ligeramente para tiempos largos como lo muestran algunas corridas de simulación de lluvia. Sin embargo, para propósitos prácticos la relación encontrada es bastante buena, como lo indica el coeficiente de determinación ($R^2=0.99$). La pendiente de la línea de regresión proporciona un valor de sorbilidad que puede ser usado en la ecuación de Philip para estimar la infiltración y además puede ser útil para comparar la sorbilidad medida *in situ* por el método de Clothier y White 1981, y determinar el grado de precisión de ambos métodos.

Por otro lado, es importante mencionar que el valor de 0.33 ha sido usado para C en muchos estudios, por lo que en este estudio la sensibilidad de la sorbilidad a los cambios de C fue investigada. En la Figura 2 se muestra la relación que existe entre valores promedio de sorbilidad y el factor C para los tres tipos de suelo y humedad inicial estudiados. En esta figura se puede observar que la sorbilidad es altamente sensible a los cambios de C en todos los casos. Por ejemplo, un incremento en C de 0.33 a 0.67 en estos suelos reduce el promedio general de sorbilidad de 6.28 a 3.22 cm h^{-1} en el Cambisol; 5.33 a 2.70 cm h^{-1} en el Planosol y de 5.19 a 3.49 cm h^{-1} en el Vertisol, lo que significa un decrecimiento o reducción de 48.7, 49.2 y 32.7 %, respectivamente. Las diferencias observadas pueden ser debidas a la variabilidad espacial que presentan los suelos. No obstante, en los tres tipos de suelo la tasa de infiltración estuvo controlada por K_r , por lo que son fuertemente afectados por el valor de C obtenido en la mayoría de los casos.

La utilidad de esta técnica fue probada para comparar la tasa de infiltración simulada con la tasa de infiltración medida en campo. Los valores promedio de C, S_0 , y K_r fueron cuantificados y usados para calcular la tasa de infiltración estimada. La comparación entre la tasa de infiltración estimada y la tasa de infiltración medida en campo para condiciones iniciales de humedad seca, húmeda y saturada se muestra en la Figura 3. Se muestran los límites de confianza para la tasa de infiltración cuando la sorbilidad varía aproximadamente dos desviaciones estándar de la media, mientras que la conductividad hidráulica final se consideró constante en su valor medio. Para la simulación en todas las condiciones iniciales de humedad, para los tres tipos de suelo

estudiados los datos proporcionan una estimación aceptable en la mayoría de los casos.

Por lo tanto, la técnica de estimación que se presenta en este estudio proporciona resultados alentadores. Sin embargo, es importante mencionar que el desfase que se observa en los datos de campo con respecto a los modelados se debe, entre otras cosas, a que estos valores fueron obtenidos en lotes experimentales donde se simuló un mantillo sobre la superficie del suelo con una doble malla mosquitera durante la aplicación de lluvia. El objetivo de utilizar dicha malla fue disipar el impacto directo de la gota de lluvia para disturbar menos la estructura del suelo y facilitar mejor la entrada de agua al suelo. Con el objeto de observar la utilidad de la técnica de estimación en este estudio, se hicieron gráficas de los valores de la tasa de infiltración estimada contra la tasa de infiltración medida en campo en una relación de 1:1. Los datos de las simulaciones realizadas bajo condiciones iniciales de humedad seca, húmeda y saturada para los tres tipos de suelo se muestran en la Figura 4. En esta figura se puede observar un buen

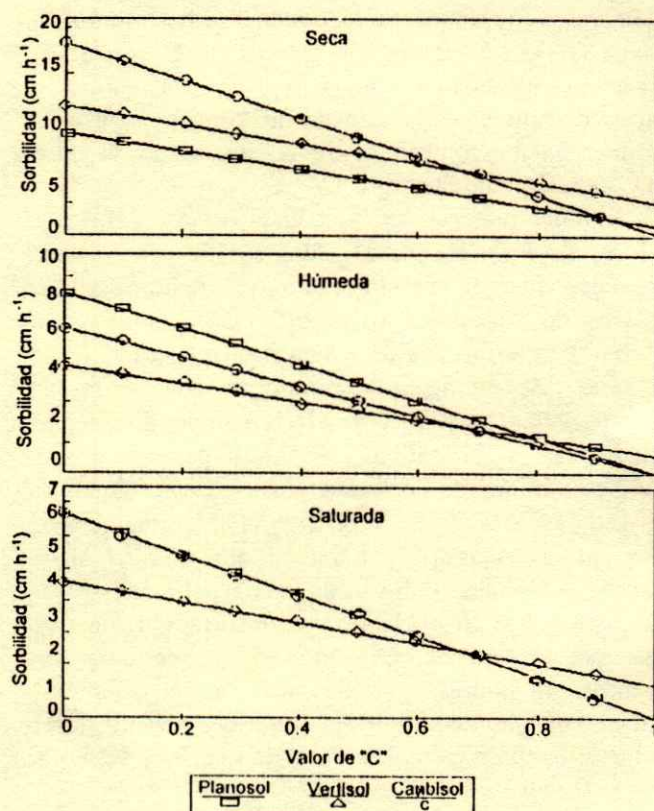


Figura 2. Sensibilidad de la sorbilidad a los valores C bajo diferentes condiciones de humedad.

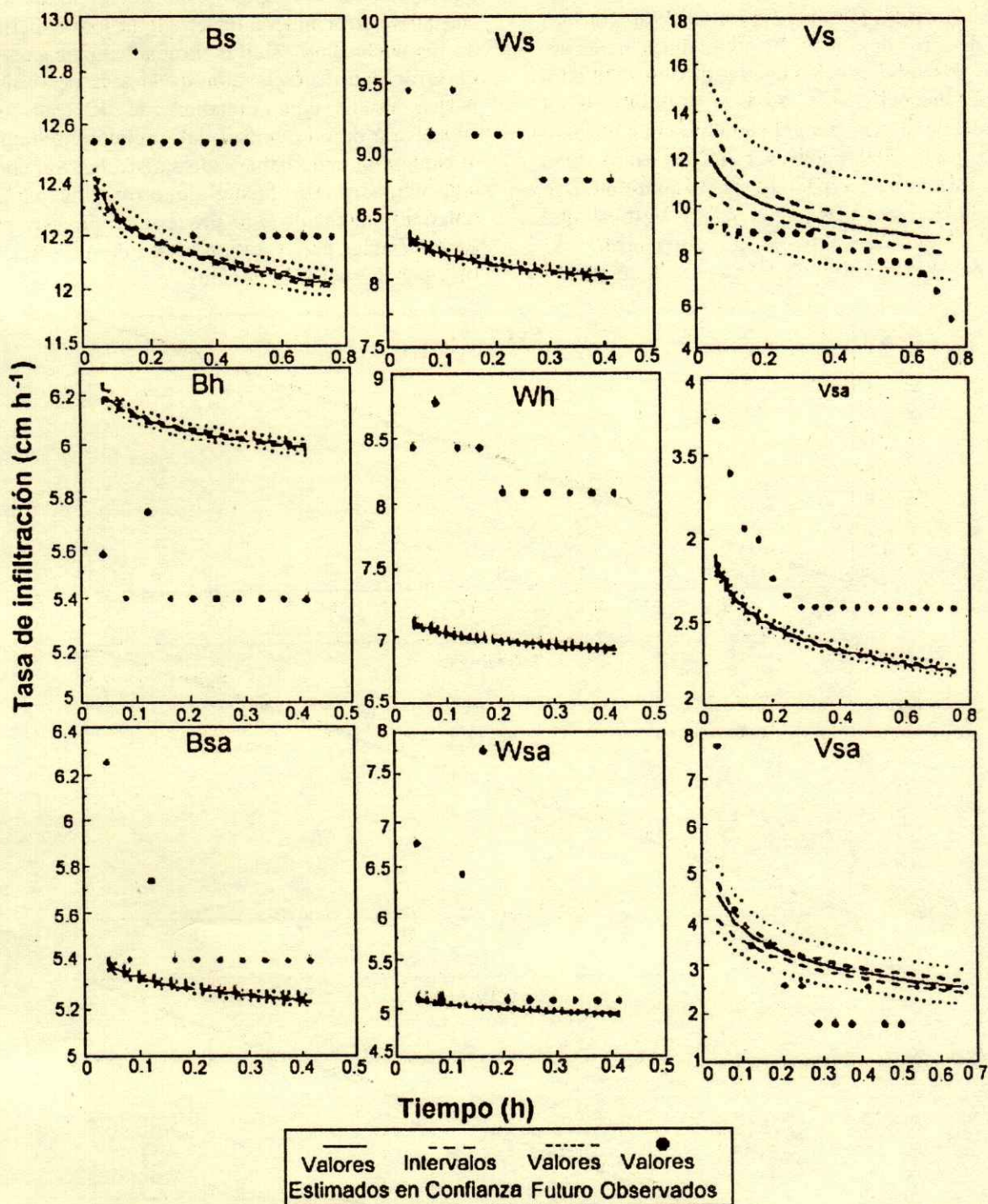


Figura 3. Comparación entre la tasa de infiltración estimada y observada para tres tipos de suelo: Cambisol (B), Planosol (W) y Vertisol (V), bajo tres condiciones de humedad: seca (s), humedad (h) y saturada (sa).

ajuste entre la tasa de infiltración estimada y la observada principalmente en la condición inicial húmeda y saturada. El error relativo para cada uno de los valores estimados fue determinado dividiendo la

diferencia absoluta de los valores observados y estimados entre el valor observado. El error relativo para la condición inicial de humedad seca en los tres tipos de suelo varió de 3.61 a 20.5 % con un promedio

de error de 10.8 %. En el caso de la condición inicial húmeda el error varió de 2.4 a 10.5 % con un promedio de error de 5.3 %. El promedio general del error de las dos condiciones iniciales de humedad para los tres tipos de suelo fue de 8.04 %. El promedio del error relativo de 20.5 % para la condición de humedad seca fue alto, lo cual puede ser debido entre otras cosas a la variabilidad espacial o al reducido número de repeticiones realizadas en el suelo Vertisol que contribuyó significativamente a este error. El promedio del error relativo de 5.3 % para la condición

inicial húmeda es aceptable, considerando las variadas causas de error inherentes en algún lote experimental de los suelo bajo estudio. Probablemente una fuente de error pudo ser el valor de la tasa de infiltración básica usado como medida de K_r por que la suposición de una unidad del gradiente hidráulico en el campo no pudo haber sido satisfecha. Sin embargo, considerando esta fuente de error, los parámetros obtenidos mediante este proceso de análisis parecen ser confiables para estimar la tasa de infiltración para los tipos de suelos estudiados.

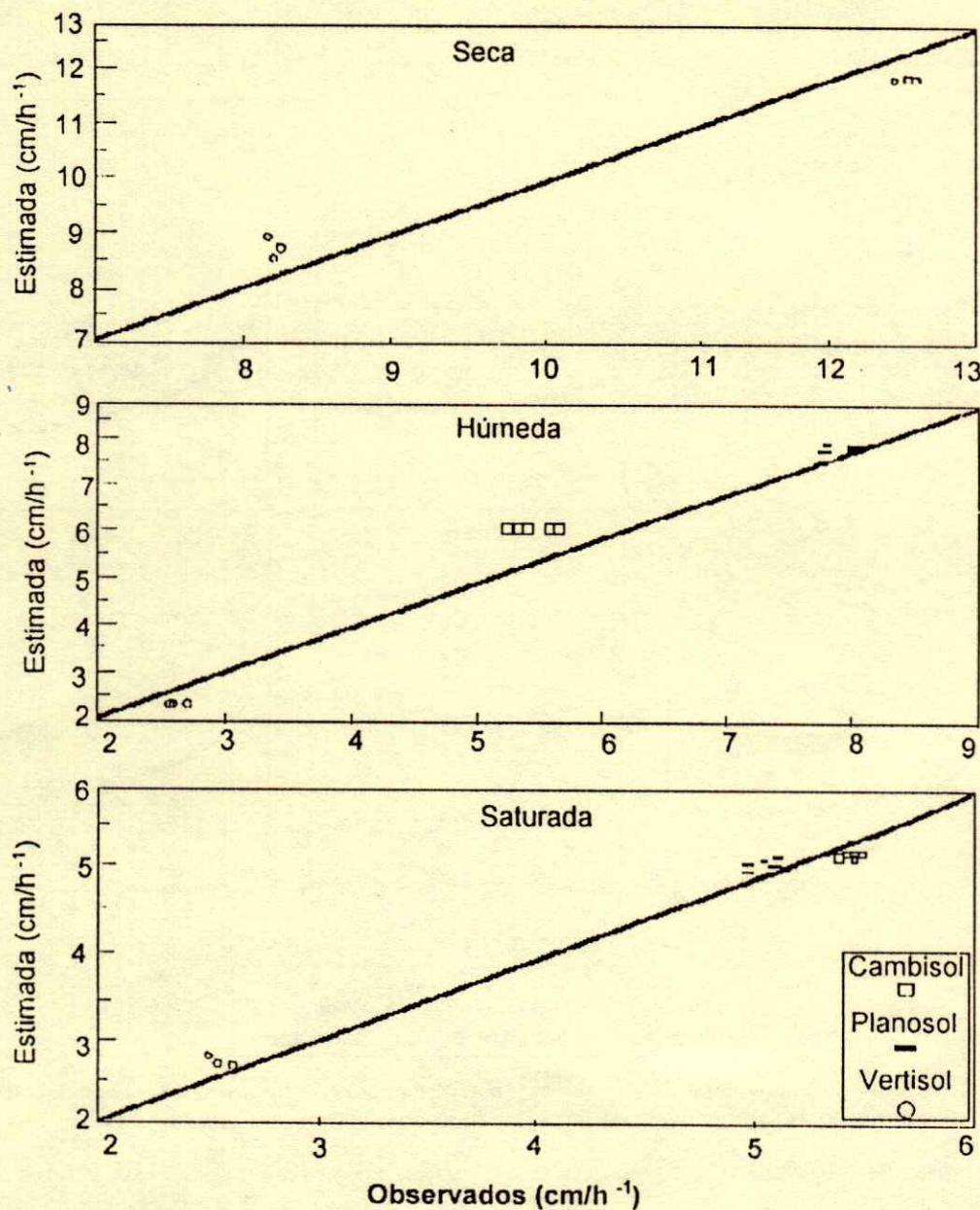


Figura 4. Relación entre valores estimados y observados de infiltración para tres tipos de suelo y tres condiciones de humedad inicial.

CONCLUSIONES

El análisis de los resultados experimentales muestran que el valor óptimo de C , la mayoría de las veces, estuvo fuera del rango de 0.33 a 0.67 sugerido en la literatura. Por lo que se recomienda determinar su valor para cada suelo y condición inicial de humedad que se pretenda estudiar.

El valor estimado de la sorbilidad para cada uno de los suelos en estudio bajo diferentes condiciones iniciales de humedad depende del valor óptimo de C . El análisis de sensibilidad de la sorbilidad mostró que S_0 es altamente sensible a los cambios de C y en menor grado entre los tipos de suelo.

Los parámetros de sorbilidad y la tasa de infiltración final determinados en este estudio fueron utilizados para evaluar su exactitud para estimar la tasa de infiltración en lotes adyacente a los lotes experimentales. En estos lotes se compararon la tasa de infiltración medida en campo y la estimada observándose una estimación aceptable en los tres tipos de suelo y humedad inicial estudiados.

El promedio del error relativo entre la tasa de infiltración medida en campo y la estimada fue de 10.8 % para la condición inicial de humedad seca y de 5.3 % para la condición húmeda. La variabilidad espacial en el suelo Vertisol contribuyó significativamente en el incremento del error relativo para la condición inicial de humedad seca. Esta limitación puede ser considerada cuando se usa una técnica de estimación bajo condiciones de campo. No obstante, teniendo el cuidado de obtener los datos de campo con un mínimo de errores, la forma de análisis discutida en el presente trabajo puede ser de mucha utilidad para obtener los valores de los parámetros que integran la ecuación de infiltración de Philip que pueden ser utilizados con propósitos de modelación de cuencas.

LITERATURA CITADA

- Agassi, M., J. Morin e I. Shainberg. 1982. Laboratory studies of infiltration and runoff control in semi-arid soil in Israel. *Geoderma* 28: 345-356.
- Ankeny, M.D., M. Ahmed, T.C. Kaspar y R. Horton. 1991. Simple field method for determining unsaturated hydraulic conductivity. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 55: 467-470.
- Barrón, V.A. 1988. Efecto del laboreo en la producción de maíz y la erosión en cuatro suelos del sur de Jalisco. Tesis de Lic. Agr. Universidad Autónoma de Nayarit, Jalisco, Nayarit.
- Carter, M.R. y G.R. Steed. 1992. The effects of direct-drilling and stubble retention on hydraulic properties at the surface of duplex soils in North-Eastern Victoria. *Aust. J. Soil. Res.* 30: 505-516.
- Chong, S.K. 1983. Calculation of sorptivity from constant-rate rainfall infiltration measurement. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 47: 627-630.
- Chong, S.K. y R.E. Green. 1979. Application of field measured sorptivity for simplified infiltration prediction. pp. 86-88. *In: Proc. Symp. Hydrologic Transport Modeling, New Orleans, L.A. 10-11 Dec. ASAE Publ. 4-80 American Society of Agricultural Engineers, St. Louis, MO.*
- Clothier, B.E. e I. White. 1981. Measurement of sorptivity and soil water diffusivity in the field. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 45: 241-245.
- Collis-George, N. 1977. Infiltration equations for simple soils systems. *Water Resour. Res.* 13: 395-403.
- Jaynes, R.A., y G.F. Gifford. 1981. An in-depth examination of the Philip equation for cataloging infiltration characteristics in rangeland environments. *J. Range Manage.* 34: 285-296.
- Lupercio, H.F. 1991. Evaluación de la estructura del suelo mediante la sorbilidad. Tesis de Maestría, Colegio de Postgraduados, Montecillos, Edo. de México.
- Lal, R. y D.M. Vandoren Jr. 1990. Influence of 25 years of continuous corn production by three tillage methods on water infiltration for two soils in Ohio. *Soil Tillage Research.* 16: 71-84.
- McIntyre, D.S. 1958. Permeability measurements of soil crusts formed by raindrop impact. *Soil Sci.* 85: 185-189.
- Ogden, C.B., H.M. van Es y R.R. Schindelbeck. 1997. Miniature rain simulator for field measurement of soil infiltration. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 61: 1041-1043.
- Osuna C., E.S. 1987. Efecto de la lluvia sobre las propiedades físicas de los suelos labrados. Tesis de Maestría. Colegio de Postgraduados, Montecillos, México.
- Osuna C., E.S. 1990. Efecto de la energía cinética de la lluvia sobre las propiedades hidráulicas del suelo. Informe de investigación del Centro de Investigación Forestales y Agropecuarias del estado de Aguascalientes. CIFAP-AGS-INIFAP.
- Philip, J.R. 1957a. The theory of infiltration: 1 The infiltration equation and its solution. *Soil Sci.* 83: 345-357.
- Philip, J.R. 1957b. The theory of infiltration: 4. Sorptivity and algebraic infiltration equations. *Soil Sci.* 84: 257-264.
- Philip, J.R. 1969. Theory of infiltration: Av. Hydrici. 5: 215-296.
- Reynolds, W.D. y D.E. Elrick. 1990. Ponded infiltration from a single ring: I. Analysis of steady flow. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 54: 1233-1241.
- Sharma, M.L., G.A. Gander y C.G. Hunt. 1980. Spatial variability in a watershed. *J. Hidrol.* 45: 101-122.
- Skaggs, R.W., L.E. Huggins, E.J. Monke y G.R. Foster. 1969. Experimental evaluation of infiltration. *Trans ASAE.* 12: 822-828.
- Smiles, E.G. y Knight. 1976. A note the use of the Philip infiltration equation. *Aust. J. Soil Res.* 14: 103-108.
- Smettem, K.R.J. y B.E. Clothier. 1989. Measuring unsaturated sorptivity and hydraulic conductivity using multiple disc permeameters. *J. Soil. Sci.* 40: 563-568.
- Talsma, T. 1969. *In-situ* measurement of sorptivity. *Aust. J. Soil Res.* 7: 269-276.
- Youngs, E.G. 1968. An estimation of sorptivity for infiltration studies from moisture moment considerations. *Soil Sci.* 106: 157-163.

- Warrick, A.W. y P. Broadbridge. 1992. Sorptivity and macroscopic capillary length relationship. *Water Resour. Res.* 28: 427-431.
- Watson, K.K. 1959. A note on the field use of a theoretically derived infiltration equation. *J. Geophys. Res.* 64: 1611-1615.
- Whisler, F.D. y H. Bouwer. 1970. Comparison of methods for calculating vertical drainage and infiltration for soil. *J. Hidrol.* 10: 1-9.
- White, I. y K.M. Perroux. 1987. Use of sorptivity to determine field soil hydraulic properties. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 51: 1093-1101.

LOCALIZACION DE CAPAS COMPACTADAS EN EL PERFIL DEL SUELO MEDIANTE PENETROMETRIA

Identification of Soil Compacted Layers Using a Cone Digital Penetrometer

De León González, F.¹, Payán Zelaya, F. y S. Sánchez R.

RESUMEN

Algunos suelos agrícolas presentan signos de degradación estructural debido a la aplicación continua de fuertes presiones de maquinaria agrícola y pisoteo de animales. La conservación de las propiedades físicas requiere del monitoreo de fenómenos como la compactación del suelo. En este trabajo se seleccionó la técnica de penetrometría para determinar, de manera rápida, la calidad física de un suelo migajón-arenoso. Se trabajó en un terreno con antecedentes de compactación. La resistencia a la penetración del cono se usó como indicador de la compactación y se realizaron inserciones en 20 sub-parcelas al interior de una parcela de 40 m². 80 % de la superficie de la parcela mostró niveles muy altos de resistencia mecánica en los primeros 25 cm del perfil. Se hizo una clasificación de las sub-parcelas tomando como criterio la profundidad de localización de capas compactadas del suelo que presentaron una resistencia mecánica superior a 3 MPa, valor considerado como restrictivo para el crecimiento de raíces. Observaciones morfoestructurales realizadas después de las mediciones de porometría corroboraron la presencia de estratos fuertemente compactados. Los datos obtenidos permitieron registrar cartográficamente con facilidad zonas que presentan fuertes heterogeneidades estructurales. Tomando en cuenta la rapidez en la generación de datos de campo, se discute la utilidad de la penetrometría en estudios exploratorios en suelos con problemas de compactación.

Palabras clave: Compactación del suelo, penetrómetro, resistencia a la penetración.

SUMMARY

Structural degradation of agricultural soils is caused by the continuous strain of the weight of heavy

¹ Universidad Autónoma Metropolitana-Xochimilco. Laboratorio de Fisiología y Tecnología de Cultivos. Departamento de Producción Agrícola y Animal. Calzada del Hueso 1100, Col. Villa Quietud, 04960 México D.F.

Aceptado: Septiembre de 1998.

agricultural machinery and large animals. Preserving the physical properties of soils in mechanized farms requires the use of programs designed to detect early changes of soil compaction that might harm future cycles and yields. The purpose of this work was to test the efficiency of a cone penetrometer technique to determine, quickly and inexpensively, the physical quality of a sandy loam soil with a high degree of compaction. The penetrometer equipment recorded and stored mechanical resistance (50 kg max.) and soil depth (50 cm max.) values digitally. Strength values were transformed to pressure (MPa). Triplicate measurements per plot were obtained from an experimental field divided in 20 plots (20 m² per plot). No high gradient on soil water content was observed when the experiments were performed. Very high mechanical resistance values (>3 MPa), known to limit root growth, were detected in 80 % of the total area studied. Although most compacted areas were present in the innermost layers, in some cases, the hardened layers were located in the first 15 cm of soil profile. The presence of hardened layers was confirmed by visual inspection of soil profile; no stones were observed in the first 50 cm. The collected data allowed the mapping of soil compaction at different depths. Taking into account the efficiency of cone penetrometry to study soil compaction, we discuss the advantages of this technique in determining the degree of deterioration of soils with confirmed compaction problems, and the application of this simple and inexpensive technology in soil regeneration programs.

Index words: Soil compaction, cone index, penetrometer.

INTRODUCCION

La penetrometría es una de las herramientas más utilizadas en estudios de la calidad física del suelo (Breune *et al.*, 1996). La compactación del suelo implica alteraciones de varias características cuyas consecuencias en la producción de cultivos y en procesos degradativos del suelo son ampliamente

conocidas (Soane y Van Ouwerkerk, 1994). El diseño de penetrometros con captosres de fuerza y de distancia conectados a sistemas de adquisici3n de datos, permite conocer con gran rapidez la fuerza que opone el suelo a la entrada del cono. Varios autores han empleado la resistencia a la penetraci3n como indicador de la compactaci3n en suelos agrcolas (Busscher y Lipiec, 1993; Grant y Lafond, 1993), en pastizales (Helyar y Sutherland, 1993; Ferrero, 1994), en suelos urbanos (Craul, 1994), y suelos forestales (Shepperd, 1993; Wairiu *et al.*, 1993). La resistencia a la penetraci3n es, junto con la porosidad, la variable m1s importante en los estudios sobre la compactaci3n del suelo en relaci3n con el enraizamiento (Barraclough *et al.*, 1991). Se ha se1alado (Breune *et al.*, 1996) que la principal ventaja de la penetrometría es la rapidez en la obtenci3n de datos; esta característica le permite ser una herramienta de diagn3stico inicial sobre la condici3n física del suelo.

Los dos objetivos del presente trabajo fueron: a) probar el potencial de la penetrometría para obtener de manera rápida informaci3n sobre la estructura del suelo y b) ubicar la profundidad de estratos del suelo con compactaci3n restrictiva del crecimiento de raices (>3 MPa). Para cubrir los dos objetivos se eligió un sitio en el cual existían evidencias de una fuerte compactaci3n dentro de la capa arable. En otro trabajo (De León *et al.*, 1997) se presentan los resultados que relacionan los niveles de compactaci3n con el crecimiento aéreo y de raices del cultivo del amaranto.

MATERIALES Y METODOS

El estudio se realizó en una parcela sembrada con amaranto (*Amaranthus* sp.) en el predio "Las Animas" (Tulyehualco, al sur de la Ciudad de México: 19°13', latitud norte y 99°01' longitud oeste; Alejandro y Gómez, 1986). El suelo es de origen volcánico y la textura migaj3n-arenosa. De acuerdo con el sistema de clasificaci3n del Soil Survey Staff (1995) el suelo es un Typic ustifluent. La parcela en la que se realizaron las mediciones de resistencia mecánica correspondió a un experimento de fertilizaci3n en amaranto. Se exploraron con el penetrometro 20 sub-parcelas de 8 m de largo y 2.5 m de ancho cada una. El uso del suelo anterior a 1995 estuvo caracterizado por fuertes presiones mecánicas.

La parcela fue barbechada con un arado de discos (15 de mayo de 1996); el surcado se realizó con un arado de tracci3n animal (18 de junio). Ninguna de las

operaciones agrcolas en la parcela, posteriores al surcado, implicaron modificaciones estructurales que pudieran influir en los resultados de compactaci3n. La resistencia a la penetraci3n se midi3 el 22 de agosto de 1996. Al realizar las mediciones de resistencia mecánica, el terreno presentaba una apariencia uniforme en cuanto a drenaje y humedad del suelo, condici3n recomendada para realizar aplicaciones de penetrometría en agricultura (Billot, 1982). Las mediciones de resistencia a la penetraci3n se realizaron con un penetrometro Bush SP1000, marca ELE, provisto de un captor de fuerza y otro de desplazamiento. El instrumento permite realizar mediciones de resistencia de hasta 50 kg de fuerza y 50 cm de profundidad. Se utiliz3 un cono estándar (ASAE, 30°) con un diámetro en la base de 1.28 cm; la velocidad aproximada de inserci3n fue de 5 cm s⁻¹ (Bradford, 1982). Para cada centímetro se obtuvo la resistencia a la penetraci3n expresada en MPa.

Cada sub-parcela const3 de tres surcos sembrados con plantas de amaranto. En cada una de ellas se realizaron tres inserciones espaciadas aproximadamente 2.5 m entre ellas, dentro del surco central. Cada inserci3n se hizo entre dos plantas de una misma hilera.

Los datos de resistencia fueron graficados en funci3n de la profundidad (Figura 1). Se definieron tres tipos de sub-parcelas tomando en cuenta la profundidad a la cual aparecieron resistencias mecánicas superiores al valor de 3 MPa (límite de crecimiento de raices). El tipo A corresponde a zonas del terreno en donde la compactaci3n intensa se presenta a profundidades superiores a 25 cm; el tipo B, la compactaci3n intensa se ubica entre 15 y 25 cm y el tipo C, la compactaci3n intensa se localiza entre 0 y 15 cm, y corresponde a la situaci3n m1s desfavorable para el desarrollo de cultivos.

Varios autores (Materechera *et al.*, 1992; Vogel, 1992) se1alan que 3 MPa de resistencia a la penetraci3n constituye un impedimento mecánico para el crecimiento de las raices. Es por ello que se tom3 ese valor como referencia en el presente trabajo.

El criterio para establecer los límites de profundidad para cada clase radica en la relaci3n entre compactaci3n y enraizamiento. La literatura se1ala que a medida que la compactaci3n es m1s superficial en el perfil, el crecimiento de las raices queda confinado principalmente en los primeros centímetros del perfil (Barraclough *et al.*, 1991; Busscher y Lipiec, 1993).

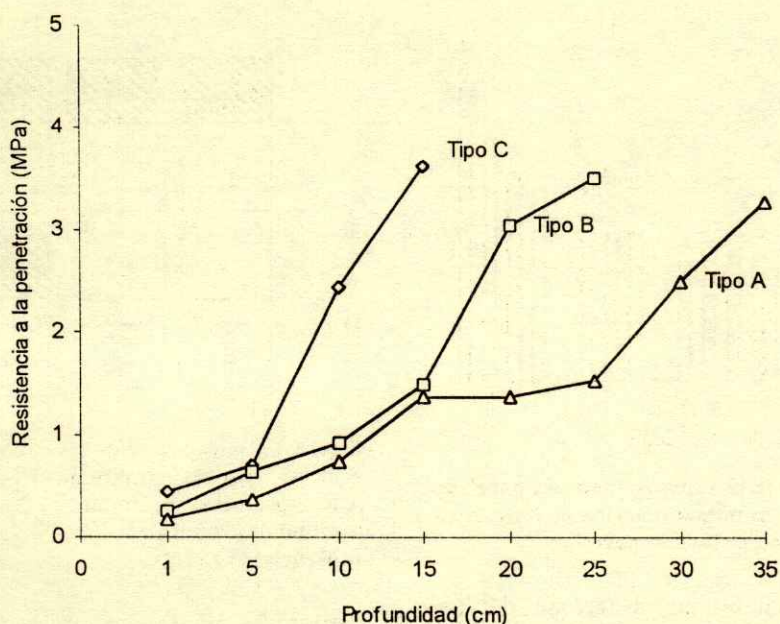


Figura 1. Resistencia a la penetración (promedio de tres inserciones) de tres tipos de sub-parcelas en función de la profundidad del perfil: A (> 25 cm), B (15 a 25 cm) y C (< 15 cm).

RESULTADOS Y DISCUSION

Resistencia a la Penetración

En todas las sub-parcelas estudiadas se presentaron valores superiores a 3 MPa en cuando menos dos de las tres inserciones realizadas por sub-parcela. Es decir, en toda la parcela estudiada se presentó una fuerte compactación en los primeros 50 cm del perfil del suelo.

En la Figura 1 puede observarse que en las sub-parcelas con compactación más superficial los valores de resistencia a la penetración son los más altos en los primeros centímetros del perfil (Curva tipo C en la Figura 1). En estas sub-parcelas se alcanzó prácticamente el límite máximo de fuerza del penetrómetro (50 kg). Las curvas tipo A y B son muy similares hasta los 15 cm. A medida que se profundiza en el perfil ambas curvas se separan.

Puede observarse que en las sub-parcelas 1 a 5 (sur de la parcela, Figura 3) se localiza una franja con fuerte compactación superficial. Dada la alta resistencia mecánica en algunas zonas del terreno, es muy probable que el arado no haya logrado trabajar a la profundidad deseada. En las zonas de mayor resistencia el disco pudo haber entrado en el suelo de manera muy superficial.

Clasificación de las Sub-parcelas en Función de la Profundidad de la Compactación Restrictiva

Con los datos de resistencia mecánica y profundidad de la capa compactada se realizó la clasificación de las sub-parcelas. En la Figura 2 puede apreciarse que la compactación a profundidades mayores que 25 cm sólo se presentó en 20 % de las sub-parcelas (Clase A). Aproximadamente 45 % de las sub-parcelas presentó fuerte compactación entre 15 y 25 cm (Clase B) de profundidad del perfil. El resto de las sub-parcelas (35 %, Clase C) presentó una fuerte compactación antes de 15 cm. Al sumar las sub-parcelas tipo B y C se tiene que 80 % de la parcela estudiada presenta una compactación fuerte en los primeros 25 cm del perfil.

Las sub-parcelas con compactación muy superficial son las más inadecuadas para el crecimiento de las raíces, pues la compactación constituye un impedimento mecánico (Bengough y Young, 1993; Busscher y Lipiec, 1993; Panayiotopoulos *et al.*, 1994), y de esta forma, una fracción de la reserva de agua (Tardicu, 1991) y de nutrientes (Hoffmann y Jungk, 1995) no son accesibles a la planta.

Los resultados presentados muestran la utilidad del penetrómetro para localizar con facilidad capas pre-compactadas en terrenos agrícolas con texturas

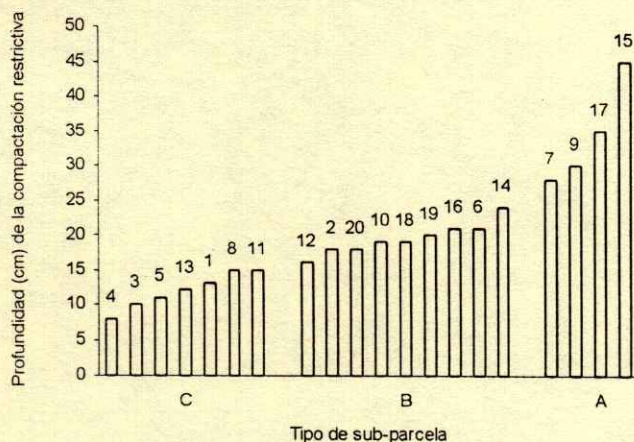


Figura 2. Profundidad (cm) de la capa compactada para las tres clases de compactación. Los números arriba de las barras corresponden a la identificación de las sub-parcelas.

franco-arenosas. La ubicación en el terreno de las sub-parcelas clasificadas de acuerdo con la profundidad de la capa compactada aparecen en la Figura 3.

Debido a que las altas resistencias mecánicas encontradas podrían deberse a la presencia de piedras, se realizaron observaciones *in situ* en ocho puntos de la unidad I (con compactación muy superficial). Se confirmó en esta unidad la existencia de una capa de suelo muy compactada, sin presencia de piedras o rocas. Esto sugiere que la fuerte compactación localizada mediante el penetrómetro es de origen antropogénico y asociada al uso anterior del suelo. La estructura masiva observada en la capa compactada fue muy resistente al rompimiento manual, no mostró porosidad estructural visible, y tuvo una muy escasa exploración de raíces. Al ser fracturada resultaron terrones con aristas pronunciadas.

En el estudio de la compactación, la penetrometría presenta algunas ventajas respecto a otros métodos que implican un mayor disturbio del suelo, como es el caso de las observaciones morfológicas del perfil cultural (De León, 1995), o el análisis de la porosidad (Stengel, 1990). Otros investigadores ya han subrayado esta ventaja de la penetrometría como una herramienta de exploración rápida de la estructura del suelo (Hartge *et al.*, 1985; Breune *et al.*, 1996), pues es posible realizar una gran cantidad de inserciones (> 100) en una misma jornada. Por otro lado, las inserciones del cono, al estar espaciadas en el terreno (Becher, 1994), no provocan alteraciones importantes en la estructura, de tal manera que el terreno

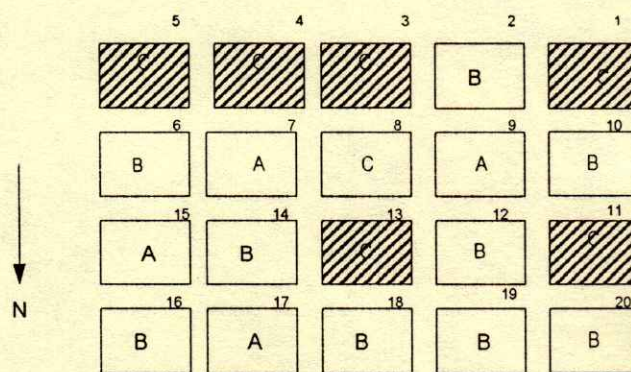


Figura 3. Ubicación de las sub-parcelas clasificadas de acuerdo con la profundidad de la capa compactada: A (compactación profunda, > 25 cm), B (compactación a profundidad intermedia, 15 a 25 cm) y C (compactación superficial, < 15 cm).

explorado puede ser utilizado posteriormente para realizar otras mediciones (Stengel, 1990).

Los datos de resistencia obtenidos en este trabajo permiten realizar un registro cartográfico como el que se presenta en la Figura 3. Esta información puede ser utilizada, por ejemplo, para planear correctamente el diseño experimental de parcelas con fuertes heterogeneidades estructurales y para seleccionar medidas correctivas como el subsuelo o la rotación de cultivos.

En este trabajo se ha demostrado la utilidad del penetrómetro para localizar de manera muy precisa estratos compactados dentro de la capa arable, en un terreno en donde ya se había reportado el problema de compactación. Para estudios sobre calidad física del suelo en donde no se tiene información previa y sobre todo cuando los estudios implican superficies mayores, es conveniente que los datos de penetrometría vayan acompañados de información complementaria, principalmente humedad, textura, materia orgánica y densidad aparente (Breune *et al.*, 1996). También es recomendable contar con observaciones morfo-estructurales de la capa arable en algunos puntos de las parcelas bajo estudio.

CONCLUSIONES

1. Los datos de penetrometría permitieron generar de manera muy rápida una colección de datos de resistencia a la penetración del suelo. Dichos datos sirvieron para la localización precisa (vertical y horizontal) de estratos de la capa arable con fuerte compactación. La representación espacial de los datos

permitió registrar cartográficamente la compactación a diferentes profundidades del perfil del suelo.

2. En las sub-parcelas se presentan valores de resistencia a la penetración muy elevados (superiores a 3 MPa), lo cual indica la persistencia de capas endurecidas que probablemente resultaron de la compactación provocada por el uso anterior del suelo en el sitio. En algunas sub-parcelas la elevada compactación se presenta de manera muy superficial en el perfil.

LITERATURA CITADA

- Alejandre, I.G. y L.F. Gómez. 1986. Cultivo del amaranto en México. Universidad Autónoma Chapingo, Chapingo, México.
- Barracough, P.B., A.H. Weir y H. Kuhlmann. 1991. Factors affecting the growth and distribution of winter wheat roots under UK field conditions. pp. 410-417. *In: McMichael B.I. y H. Persson (ed.). Plant roots and their environment. Proceedings of an ISSR symposium, 21-26 August, 1988, Uppsala, Sweden. Elsevier Science Publishers, Amsterdam, Netherlands.*
- Becher, H.H. 1994. Soil compaction around a small penetrating cylindrical body and its consequences. *Soil Technology* 7 (1): 83-91.
- Bengough, A.G. e I.M. Young. 1993. Root elongation of seedling peas through layered soil of different penetration resistances. *Plant Soil* 149: 129-139.
- Billot, J.F. 1982. Les applications agronomiques de la pénétrométrie à l'étude de la structure des sols travaillés. *Sci. Sol* 3: 187-202.
- Bradford, J.M. 1982. Penetrability. *In: Klute, A. (ed.). Methods of soil analysis. Part 1: Physical and mineralogical methods. Second edition. ASA, SSSA, Madison, Wisconsin.*
- Breune, I., M.C. Nolin, J. Caron y S. Tessier. 1996. La pénétrométrie et son utilisation dans la caractérisation de la qualité des sols. *Agrosol* 9(2): 13-21.
- Busscher, W. y J. Lipiec. 1993. Early growth of maize in compacted soil with fine and coarse structure. *International Agrophysics* 7: 77-83.
- Craul, P.J. 1994. The nature of urban soils: their problems and future. *Arboricultural J.* 18: 275-287.
- De León G., F. 1995. Estructura del suelo analizada mediante el método del perfil cultural. *Terra* 13: 185-190.
- De León, F., F. Payán, G. Pérez J. y V. Nava R. 1997. Area foliar, longitud de raíces y producción de grano de *Amaranthus hypochondriacus* en un suelo compactado. *Agro Sur* 24: 170-179.
- Ferrero, A.F. 1994. Soil physical characteristics of hillslope pastures under repeated animal and machinery traffic. *International Agrophysics* 8: 47-51.
- Grant, C.A. y G.P. Lafond. 1993. The effects of tillage systems and crop sequences on soil bulk density and penetration resistance on a clay soil in southern Saskatchewan. *Can. J. of Soil Sci.* 73: 223-232.
- Hartge, K.H., H. Bohne, H.P. Schrey y H. Extra. 1985. Penetrometer measurements for screening soil physical variability. *Soil and Tillage Res.* 5: 343-350.
- Helyar, K.R. 1994. Edaphic constraints to perennial grasses: change the plant to suit the soil or vice versa? *New Zealand J. of Agric. Res.* 37: 391-397.
- Hoffmann, C. y A. Jungk. 1995. Growth and phosphorus supply of sugar beet as affected by soil compaction and water tension. *Plant Soil* 176: 15-25.
- Materechera, S.A., A.M. Alston, J.M. Kirby y A.R. Dexter. 1992. Influence of root diameter on the penetration of seminal roots into a compacted subsoil. *Plant Soil*, 144: 297-303.
- Panayiotopoulos, K.P., C.P. Papadopoulou y A. Hatjiioannidou. 1994. Compaction and penetration resistance of an Alfisol and Entisol and their influence on root growth of maize seedlings. *Soil and Tillage Res.* 31: 323-337.
- Shepperd, W.D. 1993. The effect of harvesting activities on soil compaction, root damage, and suckering in Colorado aspen. *Western J. of Applied Forestry* 8: 62-66.
- Soil Survey Staff. 1995. Claves para la taxonomía de suelos, versión 1994. Traducción de Carlos A. Ortiz Solorio, María del Carmen Gutiérrez Castorena y Jorge Luis García Rodríguez. Primera edición en español. Publicación Especial 3. Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo (SMCS). Chapingo, México.
- Stengel, P. 1990. Caractérisation de l'état structural du sol. Objectifs et méthodes. *In: Boiffin, J. y A. Marin-Lafleche (eds). La structure du sol et son evolution: conséquences agronomiques, maîtrise par l'agriculteur. INRA, Paris.*
- Tardieu, F. 1991. Spatial arrangement of maize roots in the field. pp. 506-514. *In: McMichael B.I. y H. Persson. (eds). Plant roots and their environment. Proceedings of an ISSR symposium, 21-26 August, 1988, Uppsala, Sweden. Elsevier Science Publishers, Amsterdam, Netherlands*
- Vogel, H. 1992. Morphological and hydrological characteristics of gleyic granitic soils and their potential for crop production. A case study from Zimbabwe. *Soil Technology* 5: 303-317.
- Wairiu, M., C.E. Mullins y C.D. Campbell. 1993. Soil physical factors affecting the growth of sycamore (*Acer pseudoplatanus* L.) in a silvopastoral system on a stony upland soil in North East Scotland. *Agroforestry Systems* 24: 295-306.
- Soane, B.D. y C. Van Ouwerkerk. 1994. Soil compaction problems in world agriculture. pp. 2-21. *In: Soil compaction in crop production. Soane, B.D. y C. van Ouwerkerk (eds.). Elsevier Science Publishers, Amsterdam, Netherlands.*

ALGUNOS USOS DE LA INDUCCION ELECTROMAGNETICA EN EL ESTUDIO DE LOS SUELOS SALINOS

Some Uses of Electromagnetic Induction for the Study of Saline Soils.

Jean-Olivier Job¹, Miguel Rivera González², José Luis González Barrios³

RESUMEN

Este artículo tiene como objetivo principal dar a conocer las posibilidades del uso de la técnica geofísica de inducción electromagnética (IEM) recientemente adaptada al estudio de la salinidad de los suelos. En esta publicación se explican los principios básicos de la técnica y sus usos principales tales como la evaluación global de la salinidad, su distribución espacial y temporal y su dinámica en el perfil del suelo (lixiviación o capilaridad). A través de una ecuación es posible calcular la salinidad promedio entre cero y dos metros de profundidad de los suelos de la Comarca Lagunera. En el campo experimental del Instituto Tecnológico Agropecuario n°10 (ITA), se estudió la dinámica de las sales de un lote de suelos salinos-sódicos. Otro ejemplo fue el monitoreo de la distribución espacial de la salinidad en una huerta de nogal

Palabras clave: Conductividad electromagnética, suelos salinos.

SUMMARY

This paper describes some uses of the electromagnetic induction (EMI) in assessing soil salinity. The basic principle and the main uses of this technique, as for example the distribution of salts inside the soil profile, and the lateral variation of soil salinity are described. An equation of calibration makes it possible to evaluate the integrated soil salinity between zero and 1.2 m. The spatial distribution of salts has been studied in the experimental station of the

Instituto Tecnológico Agropecuario (ITA n°10) on soils treated with acid amendment. Another example of salt distribution is given in an orchard of walnut.

Index words: Electromagnetic conductivity, saline soils.

INTRODUCCION

Clásicamente, la determinación de la salinidad de los suelos se hace analizando muestras tomadas en una red regular, o por familia de suelo. Este procedimiento tiene algunas desventajas, entre otros que la variabilidad de la distribución de las sales es demasiado grande, como lo demostraron Job *et al.* (1987). Además, cuando no se puede ver la salinidad en la superficie del suelo, una estrategia de muestreo visual no se puede desarrollar. Por estas razones, se justifica el desarrollo de medidas globales como la resistividad eléctrica con cuatro electrodos (Rhoades y Ingvalson, 1971) y más recientemente, la inducción electromagnética (IEM).

La IEM es una técnica geofísica adecuada a la arqueología por Tabbagh (1974), y al estudio de los suelos por De Jong *et al.* (1979) y Cameron *et al.* (1981). La primera utilización fue la cartografía de la salinidad de suelos por Baden y Baker (1982), del manto freático por Stewart (1982), seguida por la estimación de la variabilidad espacial de la salinidad en suelos bajo riego en combinación con la geoestadística por Boivin *et al.* en 1988. Al mismo tiempo se intentaba estimar la salinidad global del suelo a través de varias ecuaciones de calibración (Corwin y Rhoades, 1981; Díaz y Herrero, 1992). Un equipo para la medición de la salinidad entre cero y 100 cm de profundidad ha sido recientemente diseñado por Job *et al.* (1995). El equipo utilizado en nuestro estudio es el modelo EM-38 de dos bobinas paralelas distantes de un metro que opera a una frecuencia de 14.7 Khz (Figura 1).

¹ Instituto Francés de Investigación Científica por el Desarrollo en Cooperación (ORSTOM).

² CENID-RASPA, INIFAP.

³ CENID-RASPA, INIFAP.

Aceptado: Julio de 1998.

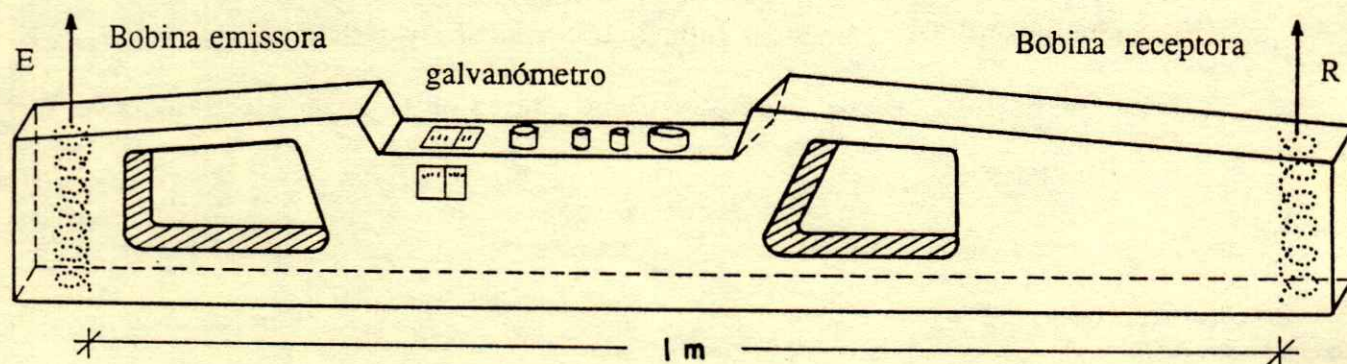


Figura 1. Equipo EM-38 (McNeill) utilizado para las mediciones en este trabajo.

La conductividad medida es una conductividad aparente global del suelo (CE_a). La medición hecha en un punto dado representa un valor integrada a un volumen de suelo de algunos metros cúbicos. En teoría, si la conductividad del suelo está uniformemente distribuida, cada estrato de suelo aporta una contribución diferente al campo secundario captado por el receptor (Figura 2).

En posición horizontal, 81 % de la medición proviene de los primeros 1.2 m de suelo (McNeill, 1980). En posición vertical hay que muestrear hasta 2.5 m para obtener un porcentaje semejante. Una buena calibración, que permite la comparación de los valores $CE_{a(v,\theta)}$ y $CE_{a(h,\theta)}$ consiste en muestrear el suelo hasta 2.0 m. En regiones áridas bajo régimen natural las sales se concentran en la superficie de los suelos, debido al efecto conjunto del ascenso capilar y de la evaporación. Bajo riego, al contrario, las sales son drenadas abajo del perfil. En estos dos extremos, todas las situaciones intermedias pueden existir. Para la medición de la salinidad del suelo en un punto del paisaje, hay que poner el equipo en el suelo y orientar los grandes ejes de los solenoides perpendiculares a la superficie del suelo, anotar la medición: $CE_{a(v,\theta)}$, y luego paralelos a la superficie del suelo, anotar: $CE_{a(h,\theta)}$. El índice θ significa que por una salinidad del suelo constante, las medidas $CE_{a(v,\theta)}$ y/o $CE_{a(h,\theta)}$ dependen del contenido en agua θ del suelo. La calibración consiste en encontrar las regresiones lineales siguientes:

$$CE_{s(v,z)} = a * CE_{a(v,\theta)} + b * \theta \quad (1a)$$

y:

$$CE_{s(h,z')} = a' * CE_{a(h,\theta)} + b' * \theta \quad (1b)$$

$CE_{s(v,z)}$ es la salinidad promedio del suelo hasta la profundidad z , estimada a partir de los valores de $CE_{a(v,\theta)}$. De la misma manera, $CE_{s(h,z')}$ es la salinidad global promedio del suelo entre 0 y z' cm de profundidad estimada a partir de valores $CE_{a(h,\theta)}$. Estas relaciones son deducidas de los valores de los extractos de saturación obtenidos hasta z y z' unidades de profundidad en un punto, cada 0.2 m por ejemplo, comparados con los de $CE_{a(v,\theta)}$ y de $CE_{a(h,\theta)}$ para al menos veinte puntos de medida. El efecto de la humedad θ del suelo puede escribirse:

$$CE_{a(v,\theta_1)} = CE_{a(v,\theta_2)} + c * (\theta_2 - \theta_1) \quad (2a)$$

y

$$CE_{a(h,\theta_1)} = CE_{a(h,\theta_2)} + c' * (\theta_2 - \theta_1) \quad (2b)$$

Estas ecuaciones implican que para una misma salinidad global, las medidas $CE_{a(v,\theta_1)}$ y $CE_{a(v,\theta_2)}$, por ejemplo, a dos estados de humedad θ_1 y θ_2 del suelo, son diferentes. Los valores de $c * (\theta_2 - \theta_1)$ y $c' * (\theta_2 - \theta_1)$ son pequeños comparados con $CE_{a(v,\theta)}$ y $CE_{a(h,\theta)}$. Entonces, la salinidad integrada del suelo entre 0 cm y z cm podría ser deducida de una medida de IEM en cualquier punto de una parcela de suelo con una estimación de θ para toda la parcela. Es evidente que para estudiar la distribución espacial de la salinidad es necesario intervenir en un momento en que la humedad del suelo es más o menos homogénea, por ejemplo tres o cuatro días después del último riego. En la literatura citada se encuentran valores de (a) comprendidos entre 0.05 y 0.09 (Cameron *et al.*, 1981; Wollenkaupt *et al.*, 1986; Díaz y Herrero, 1992) para la estimación del extracto de saturación. El coeficiente b representa la conductividad eléctrica

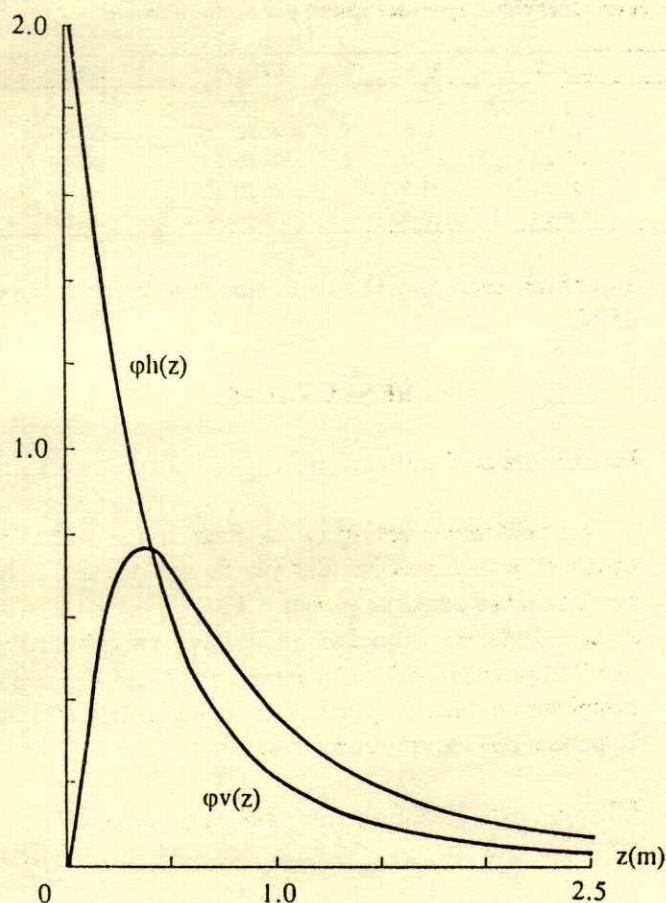


Figura 2. Contribución relativa de un estrato de suelo ubicado a una profundidad normalizada z (z =profundidad s^{-1}) al campo secundario con el eje de los solenoides vertical: $\phi_v(z)$, y horizontal: $\phi_h(z)$.

global aparente del material que constituye el suelo, su valor fluctúa entre 0.02 y 0.13 dSm^{-1} . El coeficiente c representa el efecto de la humedad, su valor fluctúa de 0.3 a 0.7, si $0.1 < \theta < 0.3$.

El presente estudio tiene como objetivo principal determinar los coeficientes a , b y c para los suelos de la Comarca Lagunera (norte-centro de México). La meta final es proponer un procedimiento general para determinar la salinidad global y la localización de las sales dentro del perfil de cualquier parcela de suelos salinos en esta región.

MATERIALES Y METODOS

En un primer experimento, se realizó la calibración en suelos que pertenecen al grupo de aluviones salinos de los ríos Nazas y Aguanaval en la parte baja de sus

cauces, ubicada en la Comarca Lagunera. Los resultados se compararon con otras 90 muestras obtenidas de una base de datos realizada por uno de los autores en suelos de Senegal, Túnez y Siria (Cuadro 1) de similar textura que los suelos de la Comarca Lagunera, para tener una base de comparación y ver si los resultados de la Comarca podrían ser generalizados.

En un segundo experimento, la distribución espacial de la salinidad se estudió en dos situaciones agronómicas donde es un problema importante. La primera se encontró en una pequeña propiedad de nombre el Chupón (municipio de Nazareno, Coahuila, $103^{\circ}40'$ O, $25^{\circ}40'$ N), dentro de la Comarca Lagunera. Una superficie de 8 hectáreas de nogal pecanero (*Carya illinoensis* Koch) en producción, con una edad de plantación de 15 años. Se utilizaron 1.5 hectáreas dentro de la huerta (Figura 3) donde los árboles tienen un crecimiento irregular por lo cual la causa debe ser investigada. El criterio de los elementos de estudio fue el tamaño y rendimiento de los árboles, apoyado por un estudio realizado por Medina y González (Medina *et al.*, 1995), donde el tamaño del árbol es cuantificado 1 ó 2 en forma visual. El número 1 representa el árbol con un crecimiento deficiente y el número 2 representa un crecimiento y un rendimiento normal sin evidencia de falta de nutrimentos.

Si el crecimiento de las raíces de los árboles está impedido por la mala calidad física o química del suelo, los árboles crecen pequeños y producen menos frutos. De ahí la importancia de conocer la distribución espacial de la salinidad para establecer los árboles en suelos sanos.

El segundo estudio se hizo en el campo experimental del Instituto Tecnológico Agropecuario no. 10, (municipio de Torreón, Coahuila, $103^{\circ}52'$ O, $25^{\circ}55'$ N), con una superficie total de 100 hectáreas. La mayor parte de sus suelos son salino-sódicos y sódicos con un pH alcalino de 7.9 a 8.6. La salinidad de los suelos se ubica entre 2 y 25 dSm^{-1} , el porcentaje de sodio fluctúa en un rango de 5 a 73 y la capacidad de intercambio catiónico (CIC) va de 21 a 43 me/100g. Cincuenta hectáreas fueron recuperadas aplicando ácido-sulfúrico y estiércol, y luego fueron usadas como parcelas experimentales. La distribución espacial de la salinidad fue estudiada en la parcela no. 17, parcialmente recuperada con ácido sulfúrico en 1994.

Cuadro 1. Características de los suelos usados en la calibración de la conductividad aparente global por suelos aluviales.

País	Río	Clima	CaCO ₃ - - - % - - -	Yeso - - -	CE _{sat} dSm ⁻¹	> 50 μ %
México	Nazas	tropical semi-árido (200 mm)	5-15	0-5	4-80	20-60
Siria	Eufrates	mediterráneo semi-árido (150 mm)	18-20	20-35	5-25	20-40
Senegal	Senegal	tropical semi-árido (400 mm)	10-15	0-5	2-30	15-30
Túnez	varios	mediterráneo árido (100-150 mm)	18-22	10-40	2-100	35-60

En todos los experimentos, la conductividad eléctrica de los estratos fue estandarizada a 25 °C. La temperatura del suelo entre 0.3 y 2.0 m fue siempre dentro del rango 19-22 °C. La temperatura de la

superficie, entre 0 y 0.3 m fluctuaba más, entre 15 y 25 °C.

RESULTADOS

Ecuaciones de Calibración

La calibración del equipo de medición se realizó a través de una regresión múltiple de dos variables, la conductividad aparente global: CE_{a(v,θ)} o CE_{a(h,θ)} y el contenido de humedad (con base en peso seco 105 °C) promedio del suelo entre 0 y 120 cm: θ₍₀₋₁₂₀₎ obtenidos en dieciséis perfiles de suelos en la Comarca Lagunera con los resultados siguientes:

$$CE_{s(120,θ)} = 10 * CE_{a(v,θ)} - 0.121 * θ_{(0-120)} - 2.3$$

con: $r = 0.90$ (3a)

y

$$CE_{s(120,θ)} = 10 * CE_{a(h,θ)} - 0.250 * θ_{(0-120)} + 2.4$$

con: $r = 0.90$ (3b)

Estas ecuaciones se pueden comparar con resultados obtenidos en Túnez y Senegal:

$$CE_{s(120,θ)} = 7.7 * CE_{a(v,θ)} - 0.150 * θ_{(0-120)}$$

con: $r = 0.93$ (4a)

y

$$CE_{s(120,θ)} = 6.6 * CE_{a(h,θ)} + 0.057 * θ_{(0-120)}$$

con: $r = 0.95$ (4b)

Estos últimos valores han sido obtenidos con $2 < CE_{s(120,θ)} < 30$, y $0.1 < θ < 0.3$, con un coeficiente de correlación $r = 0.95$ con 90 muestras de diferentes suelos de textura mediana de México, Túnez y Senegal (Figura 4 : Cuadro 1).

Una calibración que represente bien la realidad física de la muestra es una que tiene un coeficiente de θ₍₀₋₁₂₀₎ negativo y una constante cerca de cero. En la Ecuación 4b el coeficiente positivo 0.0057 es un artefacto del cálculo de regresión.

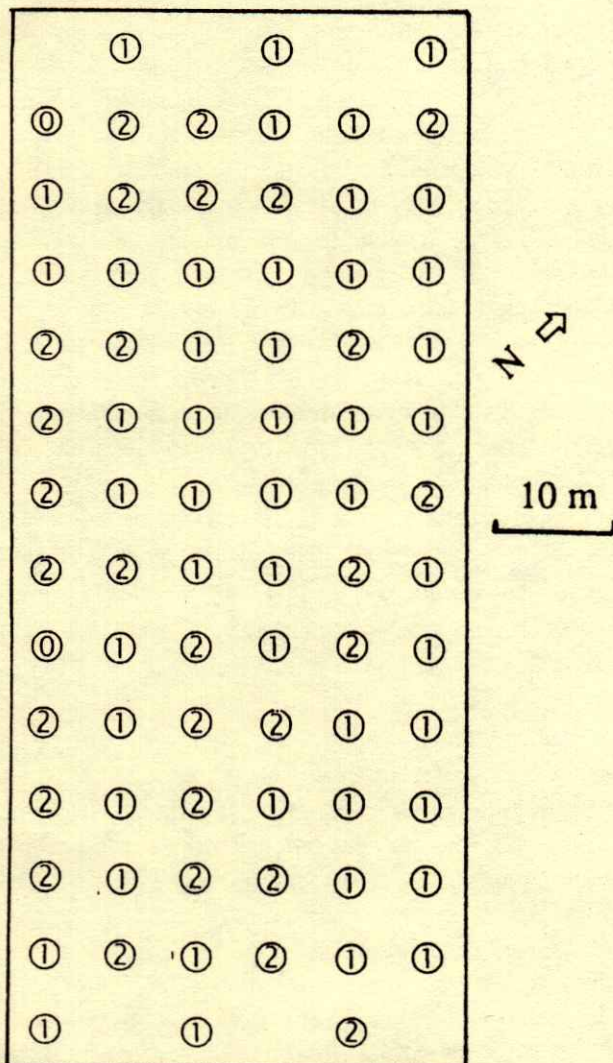


Figura 3. Huerta de nogales del Chupón (Coahuila): ubicación de los árboles de tamaño reducido (1) y normal (2). Los árboles replantados se anotan con (0).

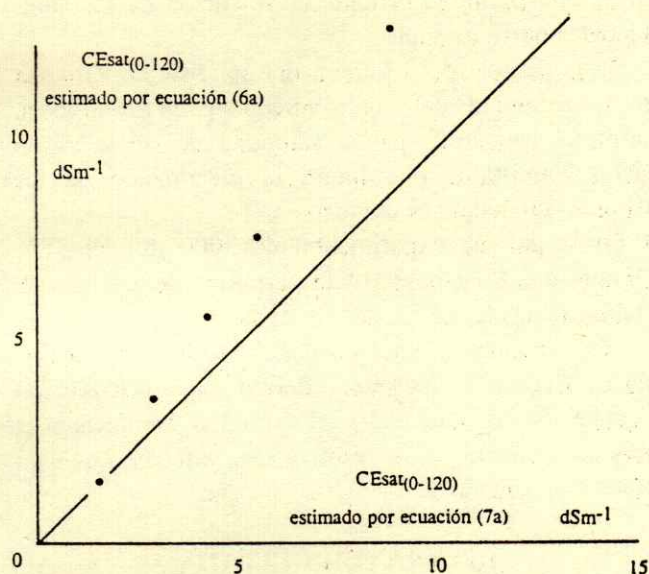


Figura 4. Estimación de la salinidad promedio de suelos de textura media mediante las Ecuaciones 3a y 4a.

Existe una desviación sistemática que justifica el uso de una ecuación de calibración especial para los suelos de la Comarca Lagunera. Esta desviación puede ser debida a la naturaleza de las arcillas, o a la naturaleza de las sales.

Ubicación de las Sales en el Perfil.

Con el mismo grupo de resultados, una regresión entre $CEa_{(v,\theta)}/CEa_{(h,\theta)}$ y $CEs_{(60-120)}/CEs_{(0-60)}$ se obtuvo la relación siguiente:

$$CEs_{(60-120)}/CEs_{(0-60)} = 0.87 * CEa_{(v,\theta)}/CEa_{(h,\theta)} \quad (5)$$

con: $r = 0.84$ y: $n = 18$

De esta ecuación, se deduce que para los suelos de la Comarca Lagunera, un valor de $CEa_{(v,\theta)}/CEa_{(h,\theta)} > 1.15$ significa que hay más sales entre 60 y 120 que entre 0-60, indicando una lixiviación parcial de las sales.

Localización de las Sales en una Parcela

En la huerta de nogal del Chupón (Figura 3), se efectuó un recorrido con el conductímetro electromagnético, tomando lecturas en modo vertical y horizontal. Un promedio de cinco lecturas tomadas en cada árbol en el área de su copa. Resultaron 56 valores

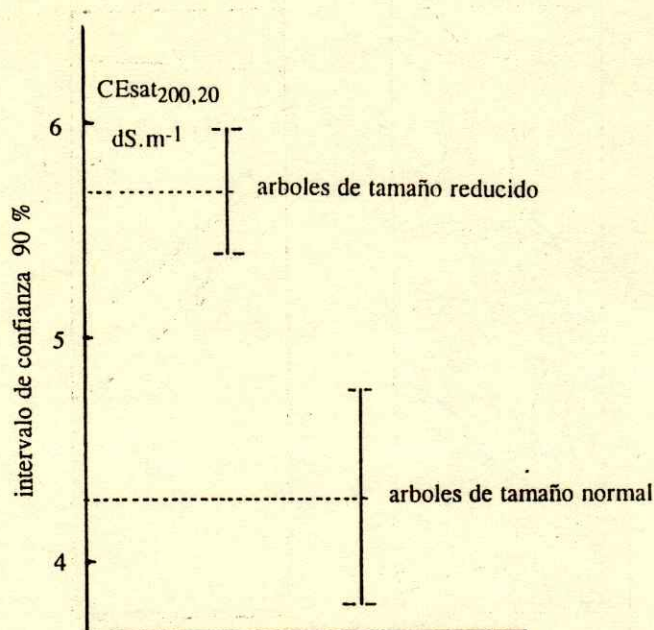


Figura 5. Intervalo de confianza a partir del promedio. (a): población de los árboles pequeños, (b): población de los árboles de crecimiento normal.

para los árboles de tamaño reducido y 20 para los árboles de tamaño normal.

Posteriormente, una análisis de varianza indicó que la salinidad es un factor de diferenciación del tamaño de los árboles (Figura 5) a un nivel de confianza de 90 %.

Para ver si las sales en el suelo proceden del riego o de condiciones adversas del suelo, un estudio de la ubicación de las sales en el perfil fue hecho. Medina *et al.* (1995) establecieron que la máxima densidad de raíces en la huerta se ubica entre 35 y 70 cm de profundidad; por lo anterior, esta capa de suelo es más sensible a la presencia de sales. Usando los valores de $CEa_{(v,\theta)}$ y de $CEa_{(h,\theta)}$ y la Ecuación 5 se calculó la distribución de las sales en la parte de mal crecimiento de los árboles ya estudiada. El mapa de los isovalores de $CEs_{(60-120)}/CEs_{(0-60)}$ fue obtenido con Geostat paquete de geoestadística hecho por Boivin (1990).

Distribución Espacial de las Sales

La distribución espacial de las sales en la parcela no. 17 del campo experimental del ITA se estudió utilizando la ecuación de calibración:

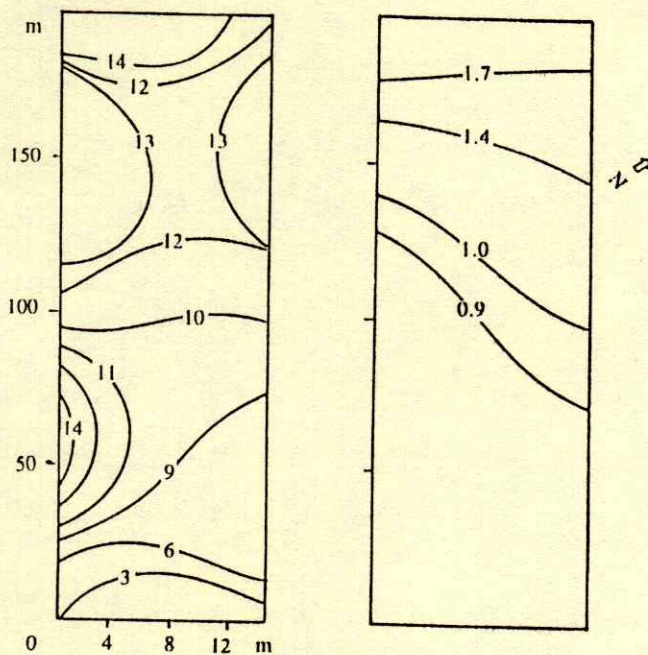


Figura 6. a) Valores de isosalinidad del suelo de la superficie hasta 200 cm de profundidad, en dSm^{-1} del extracto de saturación estimado por IEM. b) Valores de la salinidad de la capa de suelo ubicada entre 60 y 120 cm entre la salinidad de la capa 0 a 60 cm.

$$CEs_{(0-200)} = 0.0097 * (CEa_{(v,\theta)} + CEH_{(h,\theta)}) / 2 - 1.90$$

con : $n=16$ $y : r = 0.917$ (6)

la cual fue obtenida con los mismos valores de las Ecuaciones 4a y 4b, pero representando una mejor evaluación de la cantidad de sales hasta 200 cm. En el mapa de $CEs_{(0-200)}$, hecho con 76 valores, se ve una disminución constante de la salinidad en la parcela del sureste al noroeste (Figura 6a).

Además, la distribución de los valores de: $CEs_{(60-120)} / CEs_{(0-60)}$ dibujada en la Figura 6b en la parte de la parcela experimental con valores superiores a uno, indica una localización de los sales en la parte baja del perfil el cuál tiene mayor salinidad. En esta parte, el drenaje de las sales no ha sido suficiente.

CONCLUSIONES

1. Se muestra en los dos ejemplos algunos resultados de una campaña de muestreo de la salinidad de los suelos con inducción electromagnética. Dos tipos de ecuaciones fueron desarrollados. Las primeras para estimar la salinidad global del suelo entre 0 y 2 metros.

Otras que permiten estimar la ubicación de las sales dentro el perfil de suelo.

2. En la parcela del Chupón, una análisis de varianza de la salinidad del suelo alrededor de 76 árboles, permitió demostrar que la salinidad del suelo es un factor importante que limita el crecimiento de los árboles, aunque no es el único.

3. En la parcela experimental de 3000 m^2 del ITA, 89 muestras de salinidad han permitido demostrar que una parte de ella no ha sido drenada.

En estos dos últimos casos, el uso de la inducción electromagnética permite definir la distribución espacial de las sales del suelo y tomar las decisiones más convenientes para resolver esta situación con un drenaje apropiado de las aguas de riego.

LITERATURA CITADA

- Baden, G.W. y G.C. Baker. 1982. An electromagnetic induction technique for reconnaissance surveys of soil salinity hazards. *Austr. J. Soil Res.* 20: 107-118.
- Boivin, P. 1990. Geostat-PC, un logiciel interactif pour calcul statistique. Logorstom, 67 p., 1 diskette.
- Boivin, P., D. Brunet y J.O. Job. 1988. Conductivimétrie électromagnétique et cartographie automatique des sols salés. *Cah. ORSTOM. sér. Pédol.* XXIV: 39-48.
- Boivin, P., M. Hachicha, J.O. Job y J.Y. Loyer. 1989. Une méthode de cartographie de la salinité des sols. *Conductivité électromagnétique et interpolation par krigeage. Science du Sol* 25: 69-73.
- Cameron, D.R., E. De Jong, D.W.L. Read y M. Oosterveld. 1981. Mapping salinity using resistivity and electromagnetic inductive techniques. *Can. J. Soil Sci.* 61: 67-71.
- Corwin, D.L. y J.D. Rhoades. 1981. Determining soil electrical conductivity using an inductive electromagnetic soil conductivity meter. *Soil Sci. Soc. Amer. J.* 45: 255-260.
- De Jong, E., A.K. Ballantyne, D.R. Cameron y D.W.L. Read. 1979. Measurement of apparent electrical conductivity of soils by an electromagnetic induction probe to aid salinity surveys. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 43: 810-812.
- Diaz, L. y J. Herrero. 1992. Salinity estimates in irrigated soils using electromagnetic induction. *Soil Sci.* 154: 151-157.
- Job, J.O., J.Y. Loyer y M. Ailoul. 1987. Utilisation de la conductivimétrie électromagnétique pour la mesure directe de la salinité des sols. *Cah. ORSTOM., sér. Pédol.* XXIII: 123-131.
- Job, J.O., A. Tabbagh y M. Hachicha. 1995. Détermination par méthode électromagnétique de la concentration en sel d'un sol irrigué. *Can. J. Soil Sci.* 75: 463-469.
- McNeill, J.D. 1980. Electrical conductivity of soils and rocks. *Tecn. note TN-5, Geonics Ltd, Mississauga, Ontario, Canada.*
- Medina, C., G. Gonzales, R. Faz, M. Ramirez, A. Samaniego, T. Herrera y J. Santamaria. 1995. Diagnóstico integral para identificar las causas de la alternancia de producción del

- nogal pecanero. en la Comarca Lagunera. Informe de Investigación, Campo de Investigación de la Laguna. INIFAP, México.
- Rhoades, J.D. y R.D. Ingalson. 1971. Determining salinity in field soils with soil resistance measurements. Soil Sci. Soc. Am. Proc. 35: 54-60.
- Stewart, M.T. 1982. Evaluation of electromagnetic methods for rapid measurement of salt-water interfaces in Coastal Aquifers. Ground Water 20: 538-545.
- Tabbagh, A. 1974. Définition des caractéristiques d'un appareil électromagnétique classique à la prospection archéologique. Propezioni Archeologiche 9: 21-23.
- Wollenkaupt, N.C., J.L. Richardson, J.E. Foss y E.C. Doll. 1986. A rapid method for estimating weighted soil salinity from apparent soil electrical conductivity measured with an above-ground electromagnetic induction meter. Can. J. Soil Sci. 66: 315-321.

EFECTO DE ALGUNOS NUTRIMENTOS EN PLANTAS DE CHILE DE AGUA INFECTADAS CON VIRUS

Effect of Some Nutrients on 'Chile de Agua' Plants Infected with Virus

Vicente Arturo Velasco Velasco¹, Antonio Trinidad Santos², Juan Luis Tirado Torres², Daniel Téliz Ortiz³, Angel Martínez Garza⁴ y Mateo Cadena Hinojosa⁵

RESUMEN

El chile de agua (*Capsicum annuum* L.) es una hortaliza que tiene gran importancia económica y social en los Valles Centrales de Oaxaca, donde se cultiva y se consume ampliamente. Desde 1986, las plantas han presentado el "chino" o "mosaico" en el follaje, cuyos síntomas son característicos de la enfermedad ocasionada por los virus. Con el propósito de entender este problema, bajo condiciones de invernadero se llevó a cabo un ensayo con la omisión de uno o más nutrimentos en la solución nutritiva, sobre el desarrollo y rendimiento de plantas de chile de agua, sanas y enfermas de virus. Se detectaron los virus del mosaico del tabaco y del jaspeado del tabaco en plantas infectadas. La altura de la planta, la producción de frutos y la producción de biomasa seca total fueron significativamente inferiores en las plantas enfermas de virus que en las sanas. La solución nutritiva permitió un mejor crecimiento y producción en las plantas sanas y enfermas que las otras soluciones con elementos faltantes. Las plantas enfermas mostraron mayor concentración de N y P, y menor concentración de K, Ca y Mg en promedio. En las plantas enfermas de virus se observó alteración en el contenido y distribución nutrimental, comparadas con plantas sanas.

Palabras clave: *Virosis, nutrición, Capsicum annuum L., chile.*

SUMMARY

'Chile de agua' (*Capsicum annuum* L.) is a vegetable with high economical and social importance in the Central Valleys of Oaxaca, Mexico, where it is cultivated and consumed intensively. Since 1986, the plants' foliage showed 'chino' or 'mosaic' symptoms, typical of the disease caused by viruses. With the purpose to understand this problem, an assay was carried out under greenhouse conditions to study the effect of the omission of one or more elements in the nutrient solution on the growth and yield of infected and healthy 'chile de agua' plants. Tobacco mosaic viruses and tobacco etch viruses were detected in infected plants. The height of the plant, yield of fruit and total dry matter were significantly lower in plants infected by virus as compared with healthy plants. The complete nutrient solution treatment favored the growth and yield of both, infected and healthy plants as compared to the other nutrient solutions. The infected plants showed higher concentration of N and P, and lower concentration of K, Ca and Mg. In the plants infected by virus a different pattern of concentration and distribution of nutrients as compared with healthy plants was observed.

Index words: *Viruses, nutrition, Capsicum annuum L., chili.*

INTRODUCCION

El chile de agua (*Capsicum annuum* L.) es un cultivo de gran importancia económica, social y de consumo local en los Valles Centrales de Oaxaca. Anualmente se siembran 1500 ha con un rendimiento promedio de 6 a 8 t ha⁻¹ (información de productores), en donde se ocupan de 120 a 150 jornales ha⁻¹, en las diferentes etapas del desarrollo del cultivo. A partir de 1986 apareció en la región la enfermedad conocida

¹ Instituto Tecnológico Agropecuario No. 23, 68120 Oaxaca, Oax. Tel. y fax: (951) 70788.

² Instituto de Recursos Naturales, ³ Instituto de Fitosanidad, ⁴ Instituto de Socioeconomía e Informática, Colegio de Postgraduados, 56230 Montecillo, México. Tel. y fax (595) 41474.

⁵ Campo Experimental Valle de México-INIFAP, 56230 Chapingo, México.

Aceptado: Septiembre de 1998.

como "chino" o "mosaico" de la planta. Los síntomas de amarillamiento, achaparramiento, deformación de hojas y frutos son similares a los síntomas reportados por la incidencia de virus en las plantas de Chile (Green y Kim, 1991; Black *et al.*, 1993).

Pozo (1983) y Garzón (1984) mencionan que entre los virus más comunes de Chile se reportan los siguientes: del jaspeado del tabaco (TEV), del mosaico del tabaco (TMV), del mosaico del pepino (CMV), del enanismo arbustivo del tomate (TBSV), del moteado del Chile (PepMoV) y del cascabelero del tabaco (TRV).

Los estudios han inferido que en la planta, al presentar un desarrollo anormal por infección de algún tipo de virus, pueden haber desarreglos en los procesos de absorción y translocación de nutrimentos, de tal manera que puede presentarse alteración en la concentración nutrimental en el tejido vegetal (Allam *et al.*, 1980; Tschen *et al.*, 1983; Kaplan y Bergman, 1985; Hayasaka *et al.*, 1989; Annanurova *et al.*, 1992; Pennazio y Roggero, 1993). En condiciones de deficiencia o concentración excesiva de algún o algunos nutrimentos específicos, la planta puede ser más susceptible a la infección viral (Kotuc y Vanek, 1992).

Las observaciones de campo y estudios realizados sobre la fertilización muestran que las plantas que reciben una nutrición balanceada son más tolerantes a las enfermedades, y además presentan una mayor capacidad para resistir nuevas infecciones que cuando uno o más nutrimentos se encuentran en cantidades deficientes o desbalanceadas en el medio de cultivo (Graham, 1983; Agrios, 1985; González, 1996). Por lo anterior, un cultivo infectado de virus y desarrollado bajo condiciones de fertilización balanceada, puede ofrecer un mayor rendimiento que cuando no se toma en cuenta esta práctica (González, 1996).

Con relación al efecto de los virus sobre la nutrición mineral de las plantas, Martin (1976) y Kaplan y Bergman (1985) señalan que este tema ha sido poco estudiado. Las enfermedades causadas por virus alteran el contenido nutrimental del hospedero (Kaplan y Bergman, 1985). En varios trabajos se ha observado que la concentración de algunos nutrimentos aumenta en las plantas infectadas con algún tipo de virus (Thomas y McLean, 1967; Bergman *et al.*, 1974; Chakraborty *et al.*, 1995; González, 1996), entre ellos el P. Por el contrario, en otros trabajos se encontró que ciertos nutrimentos disminuyeron su concentración,

entre ellos, el K con más frecuencia (Cordrey y Bergman, 1979; Tschen *et al.*, 1983; Hayasaka *et al.*, 1989; Hong y Shi, 1991; González, 1996). También existen reportes que indican que la concentración de los nutrimentos en las plantas enfermas no cambian (Hoveland *et al.*, 1954; Bergman y Boyle, 1962; Singh y Awasthi, 1969). Estas variaciones de la concentración nutrimental, dependen del tipo de virus, de la especie de la planta, de la disponibilidad de los nutrimentos, y de otros factores (Kaplan y Bergman, 1985).

Considerando la información anterior y el problema de virosis que existe en el Chile de agua en los Valles Centrales de Oaxaca, se planteó el presente trabajo con el objeto de identificar el o los virus presentes en las plantas, estudiar la respuesta de las plantas sanas y enfermas a una solución nutritiva completa o soluciones nutritivas con uno o más elementos faltantes sobre la altura de la planta, producción de fruto, producción de biomasa seca total y en el contenido nutrimental.

MATERIALES Y METODOS

Etiología de la Enfermedad

Para identificar el agente viral en el Chile de agua, se trajeron muestras de plantas enfermas de los Valles Centrales de Oaxaca al Colegio de Postgraduados, y se hicieron pruebas serológicas por inmunosorbencia con enzimas conjugadas (ELISA) utilizando el método de Clark y Adams (1976; 1977) y adaptado por Téliz y Mora (1986). Los antisueros y conjugados utilizados fueron para los virus del mosaico del tabaco (TMV), del jaspeado del tabaco (TEV), y virus X (PXV), Y (PYV) y S (PSV) de la papa. Para definir el límite mínimo de la presencia o ausencia del virus, se procedió de acuerdo con la fórmula promedio del testigo negativo, más tres veces su desviación estándar, propuesta por Sutula *et al.* (1986).

Ensayo de Invernadero

En los Valles Centrales de Oaxaca se obtuvieron plantas de Chile de agua de un almácigo puesto en suelo (45 días después de la siembra), de 8 cm de altura en promedio (dos hojas verdaderas), donde se seleccionaron plantas sanas y enfermas que presentaban síntomas del "chino" o "mosaico". En un

invernadero del Colegio de Postgraduados, se instaló el ensayo con plantas sanas y enfermas donde se estudió el efecto de la solución nutritiva completa y soluciones nutritivas con ausencia de uno o más de los siguientes elementos esenciales: N, P, K, Ca y Mg (Cuadro 1). Se formaron 12 tratamientos que se aplicaron a plantas sanas y enfermas. Como sustrato inerte se utilizó arena de río lavada y agrolita en relación 3:1 para favorecer la aireación del sistema radical, en macetas de plástico de 3 L de capacidad. Los tratamientos se distribuyeron en bloques al azar con cuatro repeticiones. Una unidad experimental se integró con una planta colocada en una maceta de plástico; de esta forma, cada grupo de plantas sanas y enfermas tuvo 48 unidades experimentales.

La relación de tratamientos se presenta en el Cuadro 1, y los reactivos empleados y las concentraciones de éstos para preparar las soluciones nutritivas fueron los siguientes: NH_4NO_3 1N, 7 me L^{-1} ; $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ 1N, 1 me L^{-1} ; K_2SO_4 0.5N, 4 me L^{-1} ; CaCl_2 0.5N, 2 me L^{-1} ; y $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 1N, 1 me L^{-1} . Para los microelementos los reactivos fueron: H_3BO_3 , 50 g L^{-1} ; MnSO_4 , 41 g L^{-1} ; ZnSO_4 , 9.0 g L^{-1} ; y CuSO_4 , 4.5 g L^{-1} . Al preparar las soluciones nutritivas con agua destilada se adicionó 1 mL de la mezcla de micronutrientes por cada litro de solución, y 1 mL de Fe-EDTA, como lo indica Hewitt (1966). Los riegos se efectuaron diariamente por subirrigación. Antes del riego, cada solución nutritiva se aforó al nivel inicial (4.5 L) con agua destilada y se ajustó el pH a 5.5 ± 0.1 con H_2SO_4 1N. Dichas soluciones fueron renovadas cada semana.

Los parámetros analizados fueron: altura de la planta que se midió al final del ensayo, considerando desde la base del tallo hasta el ápice más alto de la planta; rendimiento de fruto, esto se realizó cuando los frutos alcanzaron su madurez comercial, evaluándose a los 115 días después del trasplante en las plantas sanas, y a los 100 días en las plantas enfermas, debido a que estas últimas por efecto de la virosis, ya no presentaban mayor desarrollo; rendimiento de biomasa seca total, se incluyeron las hojas, tallos, raíces y frutos, secados en una estufa con circulación de aire forzado por 72 h a 65 °C. Se evaluó la concentración de los nutrientes N, P, K, Mg y Ca en cada órgano; el N se determinó por el método semi-microkjeldahl para incluir nitratos (Bremner, 1965). Después de la digestión húmeda del tejido vegetal, el P se determinó, por el método de vanadato molibdato amarillo

Cuadro 1. Tratamientos utilizados en el ensayo de plantas de chile de agua, sanas y enfermas de virus, desarrolladas bajo condiciones de invernadero¹.

Trat. No.	Descripción				
1	N	P	K	Ca	Mg
2	-	P	K	Ca	Mg
3	N	-	K	Ca	Mg
4	N	P	-	Ca	Mg
5	N	P	K	-	Mg
6	N	P	K	Ca	-
7	-	-	K	Ca	-
8	N	-	-	-	-
9	-	P	-	-	-
10	-	-	K	-	-
11	-	-	-	Ca	-
12	-	-	-	-	Mg

¹ Todos los tratamientos contienen microelementos.

(Jackson, 1964), K por el método de flamometría (Berneking y Schrenk, 1957; Isaac y Kerber, 1971) y calcio y magnesio por absorción atómica (Bradfield y Spencer, 1965; Isaac y Kerber, 1971). Los nutrientes en el tejido vegetal se determinaron en una sola muestra obtenida de las cuatro repeticiones del ensayo, y no se hizo análisis estadístico.

Para la interpretación de resultados, a cada una de las variables dependientes se les realizó análisis de varianza (ANOVA) y prueba de Tukey, utilizando el paquete estadístico SAS (Statistical Analysis System Institute Inc., 1988).

RESULTADOS Y DISCUSION

Etiología Viral

Por la técnica de ELISA y la fórmula de Sutula *et al.* (1986), en plantas de chile de agua con síntomas de virosis, se detectaron dos virus, el del mosaico del tabaco (TMV) y el del jaspeado del tabaco (TEV).

Altura de Planta, Producción de Frutos y Biomasa Seca Total

El análisis de varianza mostró que la altura de la planta, la producción de fruto y la producción de biomasa seca total, fueron significativamente ($\alpha=0.01$) superiores en las plantas sanas que en las plantas enfermas de virus. En promedio la diferencia en altura de las plantas sanas (37.3 cm) a plantas enfermas (14.9 cm) fue de 22.4 cm que representa 60.1 % con base en la mayor altura (Cuadro 2); la disminución de

Cuadro 2. Efecto de los tratamientos sobre la reducción en la altura de plantas de chile de agua, sanas (PS) y enfermas (PE) de virus.

Tratamiento	Solución nutritiva	Altura de planta (cm)		Reducción (%)		
		PS	PE	PS [†]	PE [†]	De PS a PE [‡]
1	Completa	68.4a*	30.0a			56.1
2	-N	17.5cd	11.3b	74.2	62.3	35.4
3	-P	53.3bc	11.5b	22.0	61.6	78.4
4	-K	57.5b	20.3b	15.9	2.3	64.7
5	-Ca	62.4a	24.3a	8.7	9.0	61.0
6	-Mg	68.4a	25.5ab	0.0	5.0	62.7
7	-(N, P, Mg)	18.0cd	13.3b	73.6	55.6	26.1
8	-(P, K, Ca, Mg)	50.3b	9.8b	26.4	67.3	80.5
9	-(N, K, Ca, Mg)	14.4	8.5b	78.9	71.6	40.9
10	-(N, P, Ca, Mg)	15.5d	5.1b	77.3	83.0	67.1
11	-(N, P, K, Mg)	12.5d	6.9b	81.7	77.0	44.8
12	-(N, P, K, Ca)	9.9d	12.9b	85.5	57.0	-30.3
Media		37.3	14.9			
DSH $\alpha=0.05$		18.65	7.85			

[†] (trat. 1 - trat. 2.....12./ trat. 1) X 100, para plantas sanas y plantas enfermas; [‡] (PS - PE/ PS) X 100, de cada tratamiento.

* Valores con la misma letra son estadísticamente iguales (Tukey, $\alpha = 0.05$) para cada grupo de plantas sanas y enfermas.

la producción de frutos de plantas sanas (14.2 g) a plantas enfermas (1.6 g) fue de 12.6 g que representa 88.7 % (Cuadro 3); y la disminución de la biomasa seca total de plantas sanas (30.24 g planta⁻¹) a plantas enfermas (7.24 g planta⁻¹) fue de 23.0 g planta⁻¹ que representa 76.1 % (Cuadro 4); dichas reducciones se consideran como consecuencia de la enfermedad virosa. Estos resultados se deben a que, en general, las enfermedades virosas causan en el hospedero la detención del crecimiento, enrosetamiento de las hojas, debilitamiento de los tallos y disminución del

rendimiento y calidad del fruto (Allam *et al.*, 1980; Tschén *et al.*, 1983; Kaplan y Bergman, 1985).

En las plantas sanas, la ausencia del N en las soluciones nutritivas (tratamientos 2, 7, 9, 10, 11 y 12) se asoció con una disminución significativa (Tukey, $\alpha=0.05$) de los parámetros evaluados, con respecto a las plantas que recibieron la solución nutritiva completa; en la altura de la planta la reducción fue superior a 70 % (Cuadro 2), y en la producción de fruto (Cuadro 3) y biomasa seca total de más de 95 % (Cuadro 4). En cambio, cuando estuvo presente el N en

Cuadro 3. Efecto de los tratamientos sobre la reducción en la producción de fruto de plantas de chile de agua, sanas (PS) y enfermas (PE) de virus.

Tratamiento	Solución nutritiva	Rendimiento de fruto fresco (g maceta ⁻¹)		Reducción (%)		
		PS	PE	PS [†]	PE [†]	De PS a PE [‡]
1	Completa	45.21a*	7.32a			83.0
2	-N	0.83cd	0.00b	98.1	100	100
3	-P	12.91bc	0.00b	71.0	100	100
4	-K	15.46b	2.23b	65.8	69.5	85.5
5	-Ca	35.58a	6.22a	21.3	15.0	82.5
6	-Mg	38.71a	3.55ab	14.3	51.5	90.8
7	-(N, P, Mg)	1.16cd	0.00b	97.4	100	100
8	-(P, K, Ca, Mg)	18.22b	0.00b	59.2	100	100
9	-(N, K, Ca, Mg)	0.57d	0.00b	98.7	100	100
10	-(N, P, Ca, Mg)	0.60d	0.00b	98.6	100	100
11	-(N, P, K, Mg)	0.60d	0.00b	98.6	100	100
12	-(N, P, K, Ca)	0.35d	0.00b	99.2	100	100
Media		14.2	1.6			
DSH $\alpha=0.05$		12.2	3.8			

[†] (trat. 1 - trat. 2.....12./ trat. 1) X 100, para plantas sanas y plantas enfermas; [‡] (PS - PE/ PS) X 100, de cada tratamiento.

* Valores con la misma letra son estadísticamente iguales (Tukey, $\alpha = 0.05$) para cada grupo de plantas sanas y enfermas.

Cuadro 4. Efecto de los tratamientos sobre la reducción en la producción de biomasa seca total de plantas de chile de agua, sanas (PS) y enfermas (PE) de virus.

Tratamiento	Solución nutritiva	Biomasa seca total (g maceta ⁻¹)		Reducción (%)		
		PS	PE	PS [†]	PE [†]	De PS a PE [†]
1	Completa	84.64a*	25.67a			69.6
2	-N	3.13c	2.38b	96.3	90.7	23.9
3	-P	30.49b	1.75c	63.9	93.2	94.2
4	-K	41.03b	7.50b	51.5	70.8	81.7
5	-Ca	73.48a	23.13a	13.1	9.8	68.5
6	-Mg	81.69a	20.34a	3.4	20.7	75.1
7	-(N, P, Mg)	4.27c	3.25bc	94.9	87.3	23.8
8	-(P, K, Ca, Mg)	34.35b	1.93c	59.4	92.4	94.3
9	-(N, K, Ca, Mg)	2.44c	1.76c	97.1	93.1	27.8
10	-(N, P, Ca, Mg)	2.67c	1.40c	96.8	94.5	47.5
11	-(N, P, K, Mg)	2.52c	1.59c	97.0	93.8	36.9
12	-(N, P, K, Ca)	2.17c	2.15bc	97.4	91.6	0.92
Media		30.24	7.74			
DSH $\alpha=0.05$		23.60	2.50			

[†] (trat. 1 - trat. 2, ..., 12 / trat. 1) X 100, para plantas sanas y plantas enfermas; $\frac{PS - PE}{PS} \times 100$, de cada tratamiento.

* Valores con la misma letra son estadísticamente iguales (Tukey, $\alpha = 0.05$) para cada grupo de plantas sanas y enfermas.

los tratamientos (1, 3, 4, 5, 6 y 8), la reducción con respecto a la solución nutritiva completa fue inferior de 30 % en altura de la planta, de 65 % en la producción de fruto y de 70 % en la producción de biomasa seca total. Esto demuestra que con la ausencia de N en las soluciones nutritivas, la reducción del crecimiento y rendimiento de plantas sanas fue mayor que con la presencia de este elemento (Fageria *et al.*, 1997).

En las plantas enfermas con soluciones nutritivas donde faltó N (tratamientos 2, 7, 9, 10, 11 y 12) se observó una reducción superior a 55 % en la altura de la planta (Cuadro 2), a excepción de los tratamientos 3 y 8; además en estos ocho tratamientos no hubo producción de fruto (100 % de disminución) (Cuadro 3), y en la producción de biomasa seca total (Cuadro 4) la reducción fue superior a 87 %. Esto puede deberse a que la enfermedad virosa por sí sola se asoció con la detención del crecimiento de las plantas y a la falta de nutrientes que contribuyó significativamente (Tukey, $\alpha=0.05$) a los bajos y nulos rendimientos de fruto en las plantas enfermas (Berres y Stellmach, 1990; Campillo *et al.*, 1981).

En general, las plantas sanas y enfermas que recibieron la solución nutritiva completa (tratamiento 1) y en aquellas donde faltó sólo Ca o Mg (tratamientos 5 y 6) mostraron mayor altura, producción de fruto y producción de biomasa seca total, que las plantas que recibieron los otros tratamientos. Esto indica que en este caso particular, el Ca y el Mg fueron los factores menos limitativos para

el crecimiento y producción de las plantas de chile, ya que las disminuciones no pasaron de 25 %, a excepción donde faltó el Mg en que la reducción de frutos fue de 51.5 % en plantas enfermas (Cuadros 2, 3 y 4); también la solución nutritiva completa permitió el buen desarrollo tanto de plantas sanas como enfermas. Resultados semejantes obtuvieron Thomas y McLean (1967) en el cultivo de calabacita con el virus de la mancha anular del tabaco (TRSV).

Considerando que las plantas sanas y enfermas estuvieron sujetas a los mismos tratamientos de soluciones nutritivas, se compararon las sanas con las enfermas, observándose que las plantas enfermas que recibieron la solución nutritiva completa disminuyeron 56.1 % en altura, 83.0 % en producción de fruto y 69.6 % en producción de biomasa seca total (de PS a PE en los Cuadros 2, 3 y 4) y las reducciones de los otros tratamientos se pueden observar en los mismos cuadros. Se podría señalar que estas disminuciones se deben a la presencia del virus en la planta, independientemente de que existan desbalances nutrimentales.

En las soluciones nutritivas donde sólo faltó un elemento (tratamientos 2, 3, 4, 5 y 6), se observó que la ausencia de N y P se asoció a los mayores porcentajes de disminución de altura de planta, producción de fruto y producción de biomasa seca total tanto en plantas sanas como en plantas enfermas (Cuadros 2, 3 y 4); en cambio, en el tratamiento con solución nutritiva completa se favoreció el crecimiento y producción de frutos y biomasa en ambos grupos de

plantas. Quizás esto se deba en parte, a que el N y P son componentes estructurales de la propia planta y de los virus (proteínas y ácidos nucleicos) que favorecen el crecimiento de ambos, como lo indican algunos autores (Huber, 1980; Marschner, 1995). En las soluciones nutritivas donde faltó más de un elemento (tratamientos 7, 8, 9, 10, 11 y 12) los porcentajes de disminución de los parámetros antes mencionados fueron altos, y pudo deberse al desbalance nutrimental y a la presencia de los virus.

Haciendo la comparación de plantas sanas con plantas enfermas (de PS a PE; Cuadros 2, 3 y 4), en los tratamientos donde faltó sólo un elemento se observó que la ausencia del P se asoció con la mayor reducción de altura de planta y biomasa seca total; cuando estuvo ausente sólo el N o el P (tratamientos 2 y 3) no hubo producción de fruto.

Los resultados sugieren que el abastecimiento nutrimental completo en las plantas enfermas de virus es muy importante, porque podría estar aminorando el efecto de la enfermedad en el crecimiento y rendimiento de las plantas (Hong y Shi, 1991; Rashkovich *et al.*, 1993; González, 1996).

Concentración de Nutrientes en las Plantas

Las plantas sanas mostraron en promedio (hojas, tallos, raíces y frutos) menor concentración de N y P y mayor concentración de K, Ca y Mg que las plantas enfermas (Cuadro 5). Estos resultados coinciden con los estudios de Thomas y McLean, (1967), Hong y Shi, (1991) y Chakraborty *et al.* (1995), quienes encontraron mayor concentración de N y P en plantas enfermas de virus. La mayor concentración de estos dos últimos elementos en las plantas enfermas, podría estar relacionada con la baja producción de biomasa seca total que se obtuvo (Thomas y McLean, 1967).

Los tallos de plantas enfermas mostraron mayor concentración de N, P, K, Ca y Mg que las plantas sanas (Cuadro 5). Esta respuesta también se observó en las raíces con excepción del Mg que fue mayor en las plantas sanas. Quizás en las plantas enfermas los virus estén influyendo en forma indirecta en la absorción y translocación de los nutrientes hacia toda la planta (Hayasaka *et al.*, 1989) al ocasionar un desarreglo en el sistema vascular (xilema y floema) (Tschen *et al.*, 1983). Estos resultados indican que los virus se asocian con la alteración en el contenido nutrimental del hospedero (Kaplan y Bergman, 1985).

La distribución de los nutrientes N y P en los órganos de las plantas sanas y enfermas fue: hojas > frutos > raíces > tallos. Los nutrientes K, Ca y Mg en las plantas enfermas difieren en la distribución de las plantas sanas. Esto sugiere que la infección por virus cambia la distribución de los nutrientes en los órganos de las plantas hospederas. Dichos resultados difieren con lo revisado por Kaplan y Bergman (1985) al mencionar que la infección por virus no cambia la distribución de los nutrientes en toda la planta.

CONCLUSIONES

De acuerdo con los resultados obtenidos en este trabajo se observó que el "chino" o "mosaico" del chile de agua en los Valles Centrales de Oaxaca es causado por dos virus, identificándose en este caso particular la presencia de los virus del mosaico del tabaco (TMV) y del jaspeado del tabaco (TEV). Las plantas sanas mostraron significativamente ($\alpha=0.01$) mayor altura, producción de fruto y producción de biomasa seca total que las plantas enfermas. Las plantas enfermas de virus desarrolladas en una solución nutritiva completa presentaron mayor crecimiento y rendimiento de fruto y biomasa seca total. La enfermedad virosa en las

Cuadro 5. Concentración de nutrientes en hojas, tallos, raíces y frutos de plantas de chile de agua sanas y enfermas de virus (valor de cuatro repeticiones).

Organo	Plantas sanas					Plantas enfermas				
	N	P	K	Ca	Mg	N	P	K	Ca	Mg
	g kg ⁻¹									
Hojas	36.7	5.4	52.3	19.6	8.8	41.1	4.6	40.6	12.7	4.4
Tallos	15.0	2.2	37.4	5.8	2.9	30.4	4.5	39.0	10.4	3.5
Raíces	18.0	3.2	39.5	7.6	3.8	32.6	4.7	39.7	9.4	3.4
Frutos	21.8	4.6	33.5	3.0	2.8	33.3	5.7	41.7	2.5	1.8
Media	22.8	3.8	40.6	9.0	4.5	34.3	4.8	40.2	8.7	3.2

plantas de Chile de agua se asoció con la alteración en la concentración y distribución de los nutrimentos N, P, K, Ca y Mg, al encontrarse en las plantas enfermas en promedio, mayor concentración de N y P, y menor concentración de K, Ca y Mg.

LITERATURA CITADA

- Agrios, N.G. 1985. Fitopatología. Trad. por M. Guzmán O. Editorial Trillas. México.
- Allam, E.K., A.I. Gabr y A.S. Kamel. 1980. Comparative study on the effect of some mineral deficiencies on healthy and TMV-inoculated tobacco plants (*Nicotiana tabacum* L.). Agricultural Research Review (Egypt) 58: 215-230.
- Annanurova, M.A., M. Rozeyeva, T. Tailakov y L.P. Slavinskaya. 1992. Effect of fertilizers on some physiological processes and fruit quality in tomatoes. Izvestiya Akademii Nauk Turkmenistana Seriya. Biologicheskikh Nauk 3: 49-52.
- Bergman, E.L. y S.J. Boyle. 1962. Effect of tobacco mosaic virus on the mineral content of potato leaves. Phytopathology 52: 956-957.
- Bergman, E.L., S.J. Boyle, E.R. Fries y A.F. Ferretti. 1974. Influence of virus infection on elemental content of selected vegetable crops. Soils and Fertilizers Abstracts 39: 102.
- Berneking, A.D. y W.G. Schrenk. 1957. Flamephotometric determination of manganese, iron and copper in plant material. J. Agr. Food Chem. 5: 742-745.
- Berres, R.E. y G. Stellmach. 1990. New observations and conclusions on the reaction of virus-infected grafted grapevines to normal and restricted nutrient supplies. Mitteilungen Klosterneuburg, Rebe und Wein, Obstbau und Fruchtverwertung 40: 219-222.
- Black, L.L., S.K. Green, G.L. Hartman y J.M. Poulos. 1993. Enfermedades del Chile: una guía de campo. Asian Vegetable Research and Development Center. Trad. por B. Villalon, J.M. Amador y M. Campos. Publicación No. 93-401.
- Bradfield, E.G. y D. Spencer. 1965. Leaf analysis as a guide to the nutrition of fruit crops: determination of magnesium, zinc, and copper by atomic absorption spectroscopy. J. Sci. Food Agr. 16: 33-38.
- Bremner, J.M. 1965. Total nitrogen. In: C.A. Black (ed.). Methods of soil analysis, part 2, Agronomy 9: 1149-1178. ASA. Madison, Wisconsin.
- Campillo R., R., C. Quezada L. y A. Aguila C. 1981. Incidencia del virus del enrollamiento de la hoja de la papa en la respuesta a la fertilización NPK. Agricultura Técnica 4: 25-29.
- Chakraborty, S., A. Sinha y B.V.B. Reddy. 1995. Post infection changes in total nitrogen, total phosphorus and protein contents of cucurbit plants affected by cucumber mosaic viruses. Advances in Plant Sciences 8: 417-419.
- Clark, M.F. y A.N. Adams. 1976. Laboratory notes on the ELISA technique for plant viruses. E. Malling Res. Stn., Maidstone, Kent, England.
- Clark, M.F. y A.N. Adams. 1977. Characteristics of the microplate method of enzyme-linked immunosorbent assay for the detection of plant viruses. J. Gen. Virol. 34: 475-483.
- Cordrey, T.D. y E.L. Bergman. 1979. Influence of cucumber mosaic virus and growth and elemental composition of susceptible (*Capsicum annuum* L.) and resistant (*Capsicum frutescens* L.) pepper. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 104: 505-510.
- Fageria, N.K., V.C. Baligar y Ch.A. Jones. 1997. Growth and mineral nutrition of field crops. 2nd edition. Marcel Dekker, Inc. New York.
- Garzón T., J.A. 1984. Enfermedades virales. In: J.A. Laborde C. y O. Pozo C. (Comp.). Presente y pasado del Chile en México. Publicación especial No. 85. SARH-INIA, Méx.
- González, R.M. 1996. Efecto de niveles nutrimentales en las infecciones de los virus Marchitez Manchada del Tomate y Jaspeado del Tabaco en tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.). Programa de Fitopatología, Instituto de Fitosanidad, Colegio de Postgraduados. Montecillo, Edo. Méx.
- Graham, R.D. 1983. Effects of nutrient stress on susceptibility of plants to disease with particular reference to the trace elements. In: H.W. Woolhouse. (ed.). Adv. Bot. Res. Vol. 10: 221-276.
- Green, S.K. y J.S. Kim. 1991. Characteristics and control of viruses infecting peppers: A literature review. Asian Vegetable Research and Development Center. Technical Bulletin No. 18.
- Hayasaka, M., H. Uchino, E. Imura y K. Kanzawa. 1989. Content of sugar and mineral nutrient of sugar beets (*Beta vulgaris*), classified by type of rhizomania symptoms. Proceedings of the Sugar Beet Research Association (Japan) 30: 92-99.
- Hewitt, E.J. 1966. Sand and water culture methods used in the study of plant nutrition. 2nd. ed. Commonwealth Agric. Bureaux. Great Britain.
- Hong, R.B. y M.T. Shi. 1991. Influence of sugarcane mosaic virus (SCMV) on physiological metabolism in sugarcane plants. Fujian Agric. Sci. and Technology 4: 14-16.
- Hoveland, C.S., K.C. Berger y H.M. Darling. 1954. The effect of mineral nutrition on the expression of potato leaf roll virus symptoms. Soil Sci. Soc. of Am. Proc. 18: 53-55.
- Huber, D.M. 1980. The role of mineral nutrition in defense. In: J.G. Horsfall and E.B. Cowling (eds). Plant disease, and advanced treatise. Vol. 5: 383-406. Academic Press, New York.
- Isaac, R.D. y J.D. Kerber. 1971. Atomic absorption and flamephotometry: techniques and uses in soil, plant and water analysis. In: L.M. Walsh (ed.). Instrumental methods for analysis of soils and plant tissue. SSSA, Madison, Wis.
- Jackson, M.L. 1964. Análisis químico de suelos. Ediciones Omega, S.A. Barcelona, España.
- Kaplan, C.R. y E.L. Bergman. 1985. Virus infection and nutrient elemental content of the host plant: A review. Commun. in Soil Sci. and Plant Anal. 16: 439-465.
- Kotuc, J. y G. Vanek. 1992. Effect of unbalanced plant nutrition on harmfulness of grapevine leafroll virus. Polnohospodarstvo (CSFR) 38: 402-409.
- Marschner, H. 1995. Mineral nutrition of higher plants. 2nd edition. Academic Press. London.
- Martin, C. 1976. Nutrition and virus disease of plants. In: Fertilizer use and plant health. Proc. Colloq. Potash Inst. 12: 193-200.
- Pennazio, S. y P. Roggero. 1993. The hypersensitive reaction of soybean cultivars to Tobacco Necrosis Virus does not induce systemic resistance but inhibits plant growth. J. of Plant Phytopathology (Germany) 138: 118-124.

- Pozo C., O. 1983. Logros y aportaciones de la investigación agrícola en el cultivo del chile (*Capsicum* spp). Publicación especial No. 99. SARH-INIA. Méx.
- Rashkovich, N.L., Yu. Ts. Martirosyan., V.A. Storzhenco y O.S. Melik. 1993. Characteristics of consumption of nitrate nitrogen by infected and decontaminated potato plant. *Izvestiya Timiryazevskoi Sel'skokhozyaistvennoi Akademii* 4: 196-200.
- Singh, B.P. y D.N. Awasthi. 1969. Influence of cucumber mosaic virus on chemical composition of chilli. *Ind. Phytopath.* 22: 194-200.
- Statistical Analysis System Institute Inc. 1988. SAS User's guide statistics. Release 6.03 Edition. SAS Institute, Inc. Cary, N. Caroline. USA.
- Sutula, Ch.L., J.M. Guillet, S.M. Morrisey y D.C. Ramsdell. 1986. Interpreting ELISA data and establishing the positive-negative threshold. *Plant Disease* 70: 722-726.
- Téliz O., D. y G.A. Mora. 1986. Inmunosorbencia con enzimas conjugadas. *Rev. Méx. Fitopatología* 4: 133-141.
- Thomas, J.R. y D.M. McLean. 1967. Growth and mineral composition of squash (*Cucurbita pepo* L.) as affected by N, P, K, and tobacco ring spot virus. *Agronomy J.* 59: 67-69.
- Tschen, J.S., S.Y. Liao y C.T. Hsieh. 1983. Stunted growth and stunt disease of Pangola grass in relation to nutrient requirement. *J. Agric. Association of China (Taiwan)* 125: 72-83.

ANALISIS DE RIESGO EN AGRICULTURA DE SECANO

Risk Analysis in Dry Land Agriculture

José Dimas López Martínez¹, Juan F. Pissani Zuñiga² y Francisco Zavala García²

RESUMEN

Se realizó un trabajo cuyo objetivo fue proponer una metodología de análisis de riesgo en la agricultura de secano que defina la probabilidad de éxito de la producción agrícola. Durante el verano de 1994, se establecieron en Francisco Villa, Durango (Comarca Lagunera) 48 parcelas que se sembraron con los genotipos de maíz Blanco Hualahuisés y H-412. Se utilizaron dos metodologías de análisis para evaluar la varianza del rendimiento de grano como medida de estabilidad estadística en los genotipos. Estos métodos fueron: estimación de la varianza de un cultivar a través del medio ambiente (EV) y estimación de la varianza mediante la obtención de los coeficientes de regresión de Finlay y Wilkinson (FW). Además, se usó también la metodología de análisis de riesgo que engloba los resultados de los dos modelos anteriores para definir probabilidad de éxito en la producción agrícola. Los resultados mostraron diferencia en la varianza para ambos genotipos. Sin embargo, resultados similares son obtenidos en la metodología de riesgo empleada.

Palabras clave: Medio ambiente, varianza, genotipos.

SUMMARY

The objective of this work was to propose a methodology of risk analysis that defines the probability of success of crop production in dry land agriculture. During summer 1994, in Francisco Villa, Durango (Comarca Lagunera), 48 plots were sowed with the corn genotypes Blanco Hualahuisés and H-412. Two analysis methodologies to evaluate grain-yield variances were used as a mean of

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

² Subdirección de Estudios de Posgrado, Facultad de Agronomía, Universidad Autónoma de Nuevo León, Apartado postal 358, San Nicolás de los Garza, N.L.

Aceptado: Septiembre de 1998.

statistical stability in the genotypes. These methods were variance estimation of a cultivar through the environment (EV) and variance estimation through Finlay and Wilkinson's regression coefficients (FW). Moreover, a risk analysis methodology that includes the results of the other two models was used to define success probability in crop production. The results showed significance in the variance of both genotypes. However, similar results are obtained for the risk methodology used.

Index words: Environment, variance, genotypes.

INTRODUCCION

La producción de cultivos en las zonas de secano en el ámbito mundial es función de la expresión de los factores que se presentan en forma natural en el ambiente, principalmente de la variabilidad del clima en tiempo y espacio. De tal manera, que para minimizar tal riesgo (variabilidad climática), es necesario desarrollar metodologías que ayuden a la toma de decisiones en este tipo de agricultura considerando la interacción suelo, clima, planta (Hernández *et al.*, 1993).

En estas áreas se está proponiendo un cambio en el patrón de cultivos mediante el uso de cultivos más resistentes a la falta de agua; esto ha tenido poca aceptación entre los usuarios puesto que los rendimientos son para autoconsumo. Si la estación lluviosa es buena, las necesidades familiares son satisfechas y el sobrante es vendido para adquisiciones en el próximo ciclo; si la estación de lluvia no es buena, el grano no madura y sólo algo de forraje es obtenido para el ganado (agricultura de doble propósito).

Otra alternativa ha sido la introducción de variedades mejoradas de maíz y frijol, pero el problema de la lluvia persiste, entonces es deseable una alternativa soportada por un modelo de predicción para tomar decisiones que estime rendimientos de cultivos en función de variables físicas y condiciones climatológicas. Esta herramienta puede ser el uso de modelos para toma de decisiones que son aplicadas a

diferentes disciplinas agrícolas para definir el grado de incertidumbre o riesgo (Sánchez, 1994).

La gran variabilidad de la lluvia en zonas áridas es una situación común que depende de la magnitud de la escasez de agua estacional, es claro entonces que desde el punto de vista de la planeación de cultivos, es necesario interaccionar con incertidumbre y riesgo. Los economistas hacen una distinción entre incertidumbre y riesgo: **riesgo** se refiere a una probabilidad que puede ser estimada a partir de la de información a priori; e **incertidumbre** se aplica a situaciones en las cuales la probabilidad no puede ser estimada (Angus, 1990).

La agricultura de incertidumbre climática es entonces el principal problema entre los que toman decisiones, considerando que aunque las técnicas de captación de agua han mostrado ser útiles bajo situaciones de escasez de agua, el análisis de riesgo puede tener un papel principal en los procesos de toma de decisiones (Sánchez, 1994).

Considerando lo anterior, el objetivo del presente trabajo fue proponer una metodología de análisis de riesgo que defina la probabilidad de éxito para esta agricultura.

MATERIALES Y METODOS

Sitio Experimental

El experimento se estableció en el verano de 1994 en el ejido Francisco Villa, municipio Ciudad Lerdo, Durango (Comarca Lagunera), el sitio se ubica en el Km 10 de la carretera Torreón-Nazareno. Geográficamente se encuentra en los 20°40'40" norte y 103°21'00" oeste, y a una altitud de 1110 m. Se localiza dentro de la región hidrológica No. 36, donde los cultivos predominantes son maíz (47.7 %) y frijol (35 %), ocupando en conjunto 82.7 % de la superficie cultivada dentro del área de secano (Voisin y Orona, 1993).

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

información climática utilizada en el análisis fue tomada de la estación meteorológica más cercana al área de estudio que fue la del Centro Nacional de Investigación Disciplinaria en Relación Agua-Suelo-Planta-Atmósfera (CENID-RASPA), localizada en Gómez Palacio, Dgo. Los resultados de clima que se presentan fueron calculados por el paquete denominado Sistema de Información para Caracterizaciones Agroclimáticas (SICA) (Medina *et al.*, 1992) del archivo de 20 años de información (1975-1994).

Trabajo de Campo

El trabajo se desarrolló durante el verano de 1994. Se estableció un experimento con dos genotipos de maíz (Blanco Hualahuises y H-412) bajo las siguientes consideraciones: la fecha de siembra fue el 23 de agosto, la densidad de siembra fue de 12 kg ha⁻¹, la fertilización se efectuó con la dosis 80-40-00 de nitrógeno y fósforo, respectivamente, aplicándola toda al momento de la siembra.

Diseño Experimental

Se distribuyeron aleatoriamente 48 parcelas en el campo en una superficie de tres hectáreas, la mitad (1.5 ha) fue sembrada con el genotipo Blanco Hualahuises (24 parcelas) y la superficie restante con H-412 (24 parcelas). La superficie en cada parcela fue de 5.6 m de ancho por 10 m de largo, sembrándose el maíz a 0.80 cm entre surcos y a 0.20 cm entre plantas. Se establecieron siete surcos en cada parcela y se cosecharon cinco surcos para obtener rendimiento de grano por parcela.

Los valores de rendimiento de grano (kg ha⁻¹) para Blanco Hualahuises y H-412 en cada parcela, fueron utilizados para efectuar el análisis de riesgo, para el cual son estimados dichos rendimientos.

Metodologías de Análisis de Riesgo

Para evaluar riesgo se emplearon dos modelos que miden la varianza como medida de estabilidad estadística, para posteriormente usar sus resultados y cuantificar la probabilidad de éxito en la producción agrícola (riesgo). Los modelos que se mencionan se presentan a continuación (Eberhart y Russell, 1965).

El primer modelo (Ecuación 1) estima la varianza de un cultivar a través del medio ambiente (EV) (Lin *et al.*, 1985), y el segundo (Ecuación 2) basado en la

estimación de la varianza mediante la obtención de los coeficientes de regresión de Finlay y Wilkinson (FW), (Finlay y Wilkinson, 1963; Eskridge, 1990):

$$\bar{Y}_i - Z(1-\alpha)S_i^2 \quad (1)$$

$$\bar{Y}_i - Z(1-\alpha)(\beta_i - 1)^2 S^2_y (1 - 1/q)^{1/2} \quad (2)$$

El Modelo 1 envuelve el uso de la varianza de un cultivar a través del ambiente como medida de estabilidad estadística (S_i^2).

El promedio del *i*-ésimo cultivar a través del ambiente *j*-ésimo es μ_i , con varianza a través del ambiente δ^2_{ij} . La μ_i y δ^2_{ij} son estimados con \bar{Y}_i y V_i , estos estimados son entonces substituidos por \bar{Y}_i y V_i en la Ecuación 3 obteniendo los índices (EV).

La Ecuación 2 es usada para sopesar la importancia del rendimiento promedio y la varianza como medida de estabilidad estadística. En este modelo los valores de rendimiento predicho ajustados por la respuesta promedio del rendimiento al ambiente, contiene toda la información relevante. Los predichos de rendimiento ajustado del *i*-ésimo cultivar tienen media poblacional μ_i y varianza $(\beta_i - 1)^2 S^2_y (1 - 1/q)$. Esta varianza representa qué porción de la varianza total del *i*-ésimo cultivar de su rendimiento predicho es debido a su coeficiente de pendiente (β_i) difiriendo de 1. La media poblacional y la varianza son estimados con \bar{Y}_i y $(\beta_i - 1)^2 S^2_y (1 - 1/q)^{1/2}$. Siendo los valores estimados por esta ecuación substituida en la Ecuación 3, obteniéndose los índices de Finlay y Wilkinson.

El modelo para cuantificar riesgo se basa en la Ecuación 3:

$$\bar{Y}_i - Z(1-\alpha)(V_i)^{1/2} \quad (3)$$

donde \bar{Y}_i es el rendimiento promedio a través de los ambientes para cada cultivar, $Z(1-\alpha)$ es el valor del percentil de la distribución normal estándar y (V_i) es la varianza estimada como medida de estabilidad estadística para cada cultivar.

Las Ecuaciones 4, 5, 6 y 7 son utilizadas para obtener las varianzas para los dos modelos contemplados (EV) y (FW).

$$\bar{Y}_{.i} = \sum_{j=1}^q Y_{ij}/q; \bar{Y}_{.j} = \sum_{i=1}^p Y_{ij}/p; \bar{Y}_{..} = \sum_{i=1}^p \sum_{j=1}^q Y_{ij}/pq \quad (4)$$

donde: Y_{ij} = rendimiento del *i*-ésimo cultivar en el *j*-ésimo medio ambiente, $i=1,2,\dots,p$; $j=1,2,\dots,q$; i =parcelas; j =repeticiones; $\bar{Y}_{.i}$, $\bar{Y}_{.j}$, y $\bar{Y}_{..}$ denotan los rendimientos marginales del cultivar *i*-ésimo y el ambiente *j*-ésimo, además de la media sobrestimada respectivamente.

Los valores obtenidos por estas ecuaciones son utilizados para obtener S_i^2 y S^2_y , utilizadas como varianzas en los Modelos EV y FW, y calculadas de la siguiente forma:

$$S_i^2 = \sum_{j=1}^q (Y_{ij} - \bar{Y}_{.i})^2 / (q-1) \quad (5)$$

donde: S_i^2 es la varianza del cultivar *i*-ésimo en el medio ambiente *j*-ésimo para el Modelo EV.

$$\beta_i = \frac{\sum_{j=1}^q (Y_{ij} - \bar{Y}_{.i})(\bar{Y}_{.j} - \bar{Y}_{..})}{\sum_{j=1}^q (\bar{Y}_{.j} - \bar{Y}_{..})^2} \quad (6)$$

donde: β_i es el coeficiente de regresión del cultivar *i*-ésimo en el medio ambiente *j*-ésimo.

$$S^2_y = \sum_{j=1}^q (\bar{Y}_{.j} - \bar{Y}_{..})^2 / (q-1) \quad (7)$$

donde: S^2_y es la varianza del cultivar *i*-ésimo en el medio ambiente *j*-ésimo para el Modelo FW.

Una vez calculadas estas ecuaciones, las varianzas para cada modelo, se substituyen en la Ecuación 3 del modelo de riesgo y se cuantifica la probabilidad de éxito en la producción agrícola del área para cada cultivar. El nivel de significancia (α) utilizado en el análisis fue de 0.05.

RESULTADOS Y DISCUSION

Las condiciones climáticas que se presentaron en el año de 1994 en el área de influencia de Fco. Villa, Dgo., se observan en la Figura 1. La precipitación durante el año fue de 145.6 mm, desglosándose como sigue: 0.0, 0.0, 9.7, 1.5, 2.0, 15.8, 22.3, 9.1, 20.2,

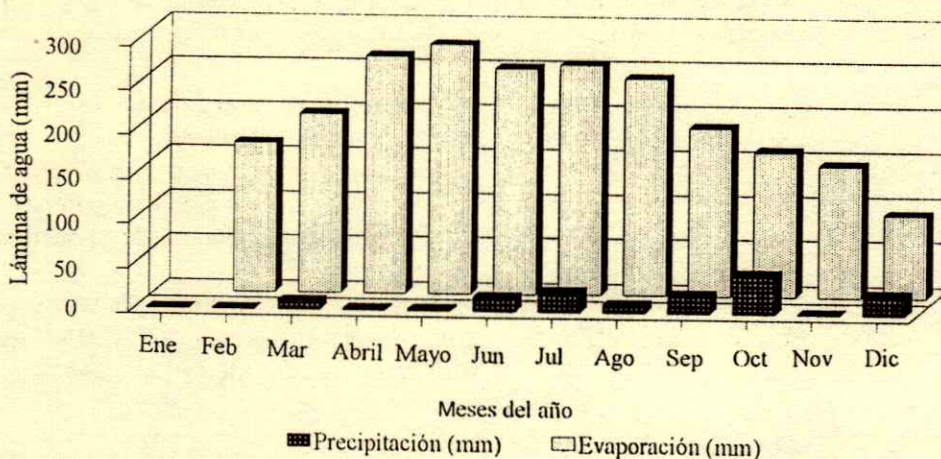


Figura 1. Comportamiento del clima. Fco. Villa, Dgo. 1994.

43.4, 0.0 y 21.6 mm de enero a diciembre, respectivamente, lo cual indica que el año fue sub-normal, es decir, por abajo de los valores promedio estadísticos, que para el área es 240 mm. La precipitación durante el ciclo de cultivo del 23 de agosto al 28 de noviembre (95 días) fue 72.7 mm.

La lluvia para establecer la siembra se presentó el día 15 de agosto, y posteriormente hubo lluvias durante el ciclo de cultivo, los días 01 de septiembre, 13 y 14 de octubre, equivaliendo la lluvia durante este periodo a 50 % del total anual. Sin embargo, hay que hacer notar que la lluvia del mes de julio (22.3 mm) dejó suficiente humedad residual en el suelo que fue aprovechada durante la siembra, de manera que el cultivo tuvo mejores condiciones de humedad en esta fase de cultivo.

En lo referente a evaporación, el agua evaporada durante el año fue de 2385.3 mm y 850 mm en el ciclo de cultivo, representando 35 % del total. Esto causó, que las condiciones en el ciclo de cultivo fueran más adecuadas que en otros años a este respecto, ya que la humedad aunque fue restringida se mejoró debido a menor pérdida de agua por evaporación al ser la temperatura más baja. Los promedios de temperatura en los meses de julio, agosto, septiembre y octubre fueron 26.8, 25.9, 23.5 y 21.3 °C, respectivamente.

Para evaluar la Ecuación 3 (análisis de riesgo), se calculó el riesgo climático para el área, usándose los valores de rendimiento observado durante el ciclo 1994 en los dos genotipos (Blanco Hualahuisés y H-412) que se presentan en el Cuadro 1.

Al evaluar la varianza para ambos genotipos a través de los ambientes mediante el uso de los

Modelos 1 y 2, los resultados señalaron que la varianza fue menor en H-412 que para Blanco Hualahuisés (0.130; 0.420) para los dos modelos empleados. Lo cual indica un comportamiento más homogéneo en el genotipo H-412, que en Blanco Hualahuisés, lo que se reflejó en menor heterogeneidad genética y, por ende, el rendimiento

Cuadro 1. Rendimiento de grano en maíz Blanco Hualahuisés y H-412 por parcela. Fco. Villa, Dgo. México. 1994.

Rendimiento grano	
Blanco Hualahuisés	H-412
----- kg ha ⁻¹ -----	
976	1200.1
928	1482.2
1236.1	1282.1
1064.1	1141
1464.1	1229.6
988	1364.1
1156.1	1291.9
935	1265.7
1454.1	1439.5
962	1459.2
1304.1	1232.9
1500.1	1190.2
1600.1	1095.1
1450.1	1248.4
1112.1	1124.6
1120.1	1098.4
1468.1	995
1204.1	1042.6
1456.1	916.3
1039.5	1000.8
1285.4	1245.6
1194.2	987.7
1435.7	1024
1312.6	1212.6

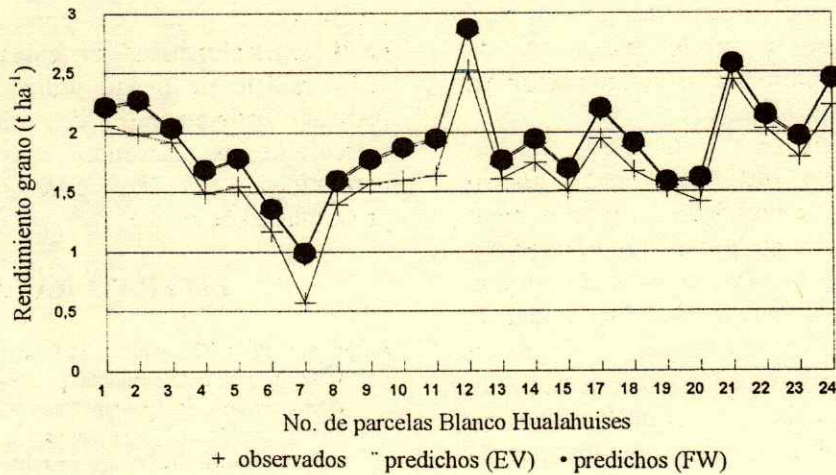


Figura 2. Valores predichos por el modelo de riesgo en maíz Blanco Hualahuises. Francisco Villa, Durango. 1994.

de grano fue más uniforme en todas las parcelas del híbrido H-412, que la variedad Blanco Hualahuises (Cuadro 1). Los resultados anteriores coinciden con lo señalado por Lin *et al.* (1985), quienes mencionan que un genotipo es estable estadísticamente si el valor de la varianza es pequeño.

Los valores estimados de la varianza en los dos genotipos por los Modelos 1 y 2, se sustituyeron al Modelo 3 de análisis de riesgo, para estimar la probabilidad de riesgo para cada genotipo en el área, presentándose a continuación los resultados.

En las Figuras 2 y 3 se muestran los valores de rendimiento de grano observados en campo y predichos por el modelo de riesgo $\hat{Y}_i - Z(1-\alpha)(V_i)^{1/2}$,

Ecuación 3 para los Modelos EV y FW en los dos genotipos. Estos rendimientos predichos fueron calculados por el modelo de riesgo a una probabilidad de 0.3, es decir, que siete de cada 10 años se obtendrán rendimientos similares a los obtenidos en 1994. Esto implica que el modelo definió una probabilidad de éxito de 70 % para las condiciones climáticas (precipitación pluvial) existentes en el área. Por lo cual la metodología puede ser empleada para estas zonas o bien desarrollar predicciones bajo esta misma propuesta en otras áreas. Sin embargo, debe considerarse que estos resultados varían dependiendo del genotipo usado, y del contenido de humedad almacenado en el suelo durante el ciclo de cultivo.

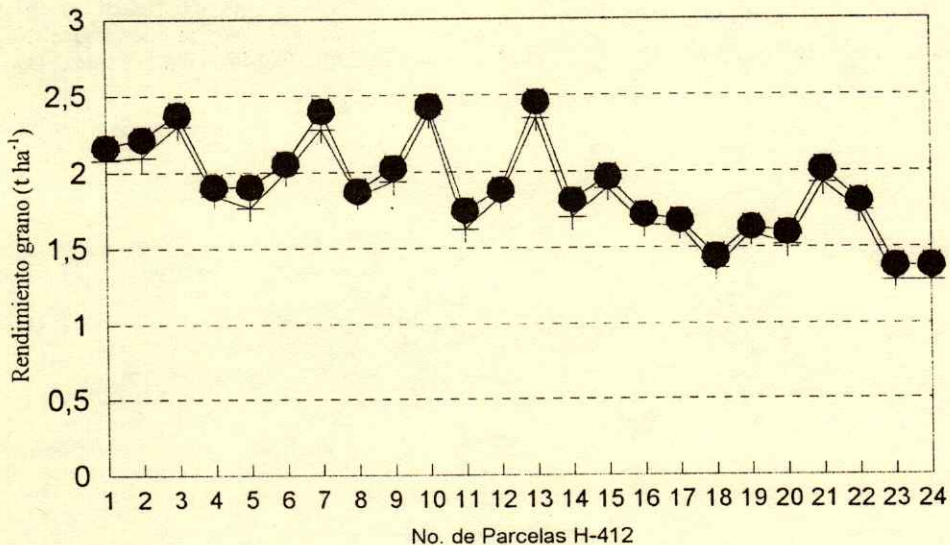


Figura 3. Valores predichos por el modelo de riesgo en maíz H-412. Francisco Villa, Durango. 1994.

Además, los modelos predicen exitosamente para 70 % de confianza, pero a niveles más altos de probabilidad se pierde confianza en la estimación ya que predicen rendimientos negativos.

Los resultados anteriores coinciden con lo reportado por Eskridge (1990), quien indica que en situaciones donde se están probando un gran número de ambientes, la varianza y el rendimiento promedio a través de los ambientes son de importancia para la evaluación del riesgo climático. Señalando que el nivel de confianza para estos modelos de riesgo en agricultura de secano varía entre 0.3 y 0.5, es decir, de 50 a 70 % de probabilidades de éxito en la obtención de rendimientos similares a los generados por el modelo.

Se efectuó adicionalmente un análisis de regresión para evaluar el ajuste de los datos de rendimiento observado y los predichos por la Ecuación 3 en los Modelos EV y FW, obteniéndose valores de R^2 de 0.96; 0.99 y 0.9682; 0.9967 para los Modelos EV y FW, respectivamente en los genotipos Blanco Hualahuises y H-412.

CONCLUSIONES

1. El modelo más confiable para usarse en la estimación del riesgo para el área es el que utiliza la estimación de la varianza FW (Modelo 2), según los resultados obtenidos en Blanco Hualahuises y H-412 para este año.
2. Para el área de secano de Francisco Villa, Durango, el nivel de riesgo en los dos genotipos de maíz evaluados es de 70 % de posibilidades de éxito. Es decir, probabilidad alta de que se obtengan los

rendimientos predichos por el modelo bajo las condiciones climáticas existentes en el área.

3. El modelo de riesgo utilizado es confiable para realizar estimaciones de rendimiento para la agricultura de secano, convirtiéndose en una herramienta útil en estas áreas para definir probabilidad de riesgo.

LITERATURA CITADA

- Angus, J.F. 1990. The evolution of methods for quantifying risk in water limited environments. pp. 39-53. *In: Proceedings of the International Symposium on Climatic Risk in Crop Production. Models and management for the semiarid tropics and subtropics.* Brisbane, Australia.
- Eberhart, S.A. y W.A. Russell. 1965. Stability parameters for comparing varieties. *Crop Science* 6: 36-40.
- Eskridge, K.M. 1990. Selection of stable cultivars using safety first-rule. *Crop Science* 30: 369-374.
- Finlay, K.W. y G.N. Wilkinson. 1963. The analysis of adaption in a plant breeding programme. *Aust. J. Agric. Res.* 14: 742-754.
- García, E. 1973. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana. Publicaciones UNAM. México, D.F.
- Hernández Y., C., M. Villa C. y T. Jiménez L. 1993. Crop production regional risk analysis. Conferencia Internacional para el desarrollo de las zonas áridas. México, D.F. pp. 54.
- Lin, C.S., M.R. Binns y L.P. Lefkovich. 1985. Stability analysis: Where do we stand? *Crop Science* 26: 894-900.
- Medina G., G., L.A. Aceves N. y G. Bueno de A. 1992. Un sistema de información para el manejo de datos climáticos (metodología de cálculo). *Terra* 10: 59-65.
- Sanchez C., I. 1994. Evaluating strip farming system for arid ecosystems. A stochastic approach. Ph.D. Dissertation. University of Arizona.
- Voisin, O. y C.I. Orona. 1993. Agricultura de temporal. Estudio de los factores que influyen los escurrimientos y el uso del agua en la región hidrológica No. 36. SARH-INIFAP-CENID-RASPA. Gómez Palacio, Dgo. pp. 273-285.

COMPARACION DE GENOTIPOS DE MAIZ BAJO CONDICIONES DEFICIENTES DE HUMEDAD EN EL SUELO

Comparison of Maize Genotypes under Deficient Soil Moisture Conditions

José Dimas López Martínez¹ y Enrique Salazar Sosa

RESUMEN

En la Comarca Lagunera se tiene un clima árido, con problemas de precipitaciones erráticas, escasas y mal distribuidas en el año (240 mm), lo cual ocasiona baja producción. Considerando lo anterior fue establecido un trabajo en el ciclo 1995 en el ejido Rojo Gómez, estado de Durango. En dos hectáreas se establecieron dos genotipos de maíz (*Zea mays* L.) H-419 y B-15, seleccionados de experimentos con 17 genotipos de maíz conducidos en el periodo 1992-1994 como los de mejor comportamiento. Siendo el primero un híbrido y el segundo una variedad, respectivamente. Dichos genotipos fueron arreglados en el campo en un diseño de parcelas apareadas con 10 repeticiones. Evaluando como variables: altura de planta, diámetro de tallo, número de hojas, rendimiento de forraje, y humedad en el suelo por genotipo. El análisis estadístico usado fue una prueba de "t". Los resultados señalan que existe diferencia significativa para diámetro de tallo y rendimiento de forraje al 0.05 %. Con respecto al contenido de humedad en el suelo, la profundidad de 30 a 60 cm es la que por periodos más prolongados conserva la humedad. Concluyéndose que H-419 es una buena alternativa para los productores de las zonas áridas de la región.

Palabras clave: Zonas áridas, parcelas apareadas, cuencas hidrológicas.

SUMMARY

The Lagunera Region has an arid climate with problems of erratic and scarce annual precipitation (240 mm), besides low yield. Considering the foregoing, a study was carried out during 1995 in the

¹ Facultad de Agricultura y Zootecnia, Universidad Juárez del Estado de Durango, Apartado postal 1-142, 35000 Gómez Palacio, Durango.

e-mail: joshua@teleinfo.com.mx.

Aceptado: Julio de 1998.

'Ejido Rojo Gómez', Durango State. In two hectares, two genotypes of corn (*Zea mays* L.) (H-419 and B-15) were established. These genotypes were selected from experiments conducted from 1992 to 1994 with 17 genotypes. The first is a hybrid and the second is a variety. These genotypes were established in the field in an experimental design of pair plots with ten replications. Stem diameter, plant height, number of leaves, green matter yield, and soil moisture were weekly monitored from the plots. The "t" test indicated that there exists statistical significance (0.05) for stem diameter and forage yield. With respect to plant height and number of leaves there is no statistical significance, but in soil moisture the highest values were found from 30 to 60 cm of depth. Therefore, the hybrid H-419 is a good alternative for farmers of this dry land region.

Index words: Dry land, pair plots, hydrological basins.

INTRODUCCION

Es indudable que el clima y su variabilidad juegan un papel importante en la productividad física de los cultivos agrícolas, así como en el riesgo de falla de tal productividad especialmente en zonas no irrigadas. Esto conlleva a una agricultura de subsistencia para los moradores de áreas áridas y semiáridas (Sánchez, 1994).

La región Lagunera en su área de secano, presenta un clima característico de zonas áridas, con problemas de escasa y errática precipitación anual (240 mm); temperatura de mayo a octubre de 35 °C en promedio y donde la evaporación puede ser nueve a 11 veces la precipitación, lo que dificulta aún más la producción agrícola. Pierre *et al.* (1965) mencionaron que las plantas que crecen en ambientes secos son más eficientes en el uso del agua y, por ende, sufren menos pérdidas en su rendimiento. Fogel y Lopes (1990) consideraron que los sistemas de cosecha de agua ayudan a proveer los requerimientos de agua de un

cultivo en un área pequeña, ya que en condiciones normales de siembra, sin sistemas de captación, la lluvia sería insuficiente. Los efectos de la falta de agua sobre los cultivos han sido observados por Chan *et al.* (1987), quienes en maíz y otros cultivos han demostrado la necesidad de agua en las diferentes etapas fenológicas, considerando que un estrés en cualquier etapa reduce el rendimiento, y por Tapia *et al.* (1986), quienes mencionaron que en zonas áridas, las pérdidas en producción por escasez de agua pueden ser hasta de 100 %. Peña y Zapata (1990) reportaron para maíz en la zona centro de México, rendimientos de 645 a 835 kg en genotipos precoces, bajo condiciones críticas de humedad.

Por tales motivos se estableció el presente trabajo, cuyo objetivo fue evaluar los genotipos de maíz H-419 y B-15 que han sido las más sobresalientes en tres años previos de trabajo (1992-1994), con 17 genotipos.

REVISION DE LITERATURA

Cluff (1976) señala que la agricultura de escurrimientos puede ser el camino más próximo a seguir para hacer producir y rehabilitar las zonas áridas y semiáridas, necesiéndose para esto, experimentar con cultivos anuales bajo condiciones de escurrimiento.

Velasco y Carmona (1980) mencionaron que probablemente la actividad más incierta del hombre del semidesierto mexicano es la agricultura de temporal, en donde los campesinos emplean las depresiones para ubicar sus parcelas, recibiendo los escurrimientos de las áreas circundantes más altas, estimándose que aproximadamente se requieren de 12 a 13 ha de superficie de escurrimiento para regar una ha de milpa.

Salazar (1987), trabajando con retardadores de evaporación (plástico negro, piedra y quiote) en cuatro variedades de nopal, encontró respuesta favorable a la conservación de la humedad del suelo por períodos más prolongados con respecto al testigo, señalando que el tratamiento con retardador de evaporación de plástico negro fue el más sobresaliente.

Magallanes (1989) estableció que el sistema de labranza de conservación mejoró la captación de humedad y la conservación del recurso agua-suelo, además del rendimiento, rentabilidad y uso eficiente del agua en el cultivo de maíz de temporal, en comparación con la labranza tradicional.

López (1991) realizó un trabajo de sistemas de labranza en el ejido Francisco Villa, municipio de Ciudad Lerdo, Dgo. en el cultivo de maíz. Encontró que la labranza con rastreo antes de la siembra proporcionó el mejor rendimiento de forraje y grano e incrementa el contenido de humedad en el suelo, debido a la mejora de la infiltración y aireación el suelo.

MATERIALES Y METODOS

Localización Geográfica

El sitio en el cual se realizó el trabajo se ubica en el ejido Rojo Gómez, Municipio de Ciudad Lerdo, Durango, y se localiza en el km 70 de la carretera Lerdo-Durango. Dicha área se encuentra en los 24° 40'50" norte y 104° 23'00" oeste y a una altitud de 1100 metros.

Características Climáticas

Según la clasificación de Köppen, modificada por García (1973), el clima es árido con lluvias escasas en todas las estaciones del año, media anual de 240 mm. Los eventos lluviosos se presentan normalmente en los meses de junio a septiembre, lapso durante el cual se precipita 70 % del total del año. La temperatura media anual es 20.7 °C.

Características Edáficas

El suelo donde se efectuó el trabajo está comprendido como Xerosol según la clasificación de suelos de FAO-UNESCO, modificado por la Dirección de Estudios del Territorio Nacional (DETENAL, 1979), que corresponden a suelos que se localizan en zonas áridas y semiáridas de México y tienen como vegetación natural, matorrales y pastizales, capa superficial de suelo de color clara y pobres en materia orgánica.

Una consideración importante es que la superficie donde se estableció la siembra, cuenta con un sistema de bordería antierosiva (terrazas) con dimensiones de 100 m de largo, 1 m de altura, 1 m de base ancha y 0.5 m de base angosta, con separaciones entre una y otra terraza de 30 metros. Estos dispositivos hidráulicos permiten el manejo del escurrimiento superficial, pudiendo almacenarse (en el suelo) una lámina de agua

hasta de 15 cm después de cada evento lluvioso dependiendo de la magnitud del evento. Dicho sistema es lo que hace posible tener producción de grano en la zona.

Trabajo de Campo

La siembra se llevó a cabo el 3 de mayo, después de que se recibieron las primeras lluvias en el área de cultivo. Se emplearon dos genotipos de maíz, B-15 y H-419. Los genotipos se establecieron en campo bajo un diseño de parcelas apareadas con 10 repeticiones en una superficie de una hectárea para cada genotipo. Se aplicó una dosis de fertilización de 60-60-00 kg de nitrógeno y fósforo por hectárea, respectivamente, suplementada dicha dosis con urea y fosfato diamónico. Se evaluaron las siguientes variables: humedad en el suelo por genotipo a las profundidades de 0 a 30 y de 30 a 60 cm, altura de planta, diámetro de tallo, número de hojas, rendimiento de forraje, además de evaporación y precipitación durante el ciclo vegetativo. Se usó una prueba de "t" para evaluar la diferencia entre genotipos y análisis gráfico para observar la diferencia entre las variables.

RESULTADOS Y DISCUSION

La estación más cercana al área de estudio, en la cual se tomaron los datos climáticos, fue la del Centro Nacional de Investigación Disciplinaria en Relaciones Agua-Suelo-Planta-Atmósfera (CENID-RASPA-INIFAP-SARH) ubicada en el km 3.5 margen derecho del canal Sacramento en Gómez Palacio, Durango. Su localización geográfica es 26°53' norte y 104°40' oeste.

La precipitación y evaporación fue como sigue: lluvia total durante el año de 228 mm, y durante el ciclo vegetativo (3 de mayo al 17 de julio) de 82.34 mm, precipitándose en el mes de mayo 60.3 mm (22 % total anual) que fue lo que decidió el inicio de la siembra en ese mes, presentándose otra lluvia el 20 de mayo de 20 mm y otra más de 2 mm en junio, la cual es inapreciable para el cultivo.

Esto hace que desde el día 2 de junio hasta el 17 de julio, o sea 45 días después de la última lluvia, el cultivo empezó a presentar problemas de deficiencias de humedad, por lo cual la cosecha se tuvo que efectuar para forraje el 18 de julio, es decir, a los 75 días después de la siembra. Las pérdidas de agua por evaporación en el mismo período fueron de

596 mm (mayo-julio) equivalentes a 26 % anual, es decir, poca lluvia y muchas pérdidas de agua ocasionada por las altas temperaturas en estos meses (40 °C) que limitaron aún más la producción agrícola.

Humedad del Suelo

En lo referente a humedad en el suelo, los niveles de agua presentados a la profundidad de 30 a 60 cm son los que conservan los contenidos de humedad más altos durante un período de tiempo más largo. Esto es lógico, ya que en la profundidad de 0 a 30 cm se pierde mayor humedad debido al efecto de los rayos solares sobre la superficie del suelo.

Se observa en la Figura 1 que el agua en la profundidad de 30 a 60 cm se mantuvo entre los límites de humedad aprovechable hasta el 2 de junio aproximadamente; a partir de esta fecha los cultivos se vieron sometidos a condiciones limitadas de humedad durante el ciclo. Estos valores críticos obligaron a cosechar para forraje el día 18 de julio.

Características Fenológicas

Altura de planta es uno de los parámetros más importantes en la evaluación, cuyos resultados de la prueba de "t" aparecen en el Cuadro 1. Se observa que B-15 presenta una altura máxima de 180 cm y H-419 de 114 cm (Figura 2), lo cual trae como consecuencia que el análisis estadístico indique no diferencia significativa.

Respecto a diámetro de tallo B-15 presenta un diámetro promedio de 1.5 cm y H-419 de 1.86 cm (Figura 3), esto refleja la diferencia estadística que se

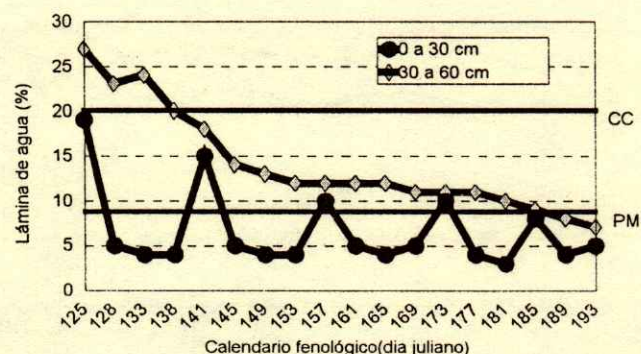


Figura 1. Distribución de la humedad en el suelo. Rojo Gómez, Durango, 1995.

Cuadro 1. Comparación de medias en genotipos de maíz. Rojo Gómez, Durango. 1995.

Genotipo	Variable ¹			
	Altura	Diámetro	Número de hojas	Rendimiento de forraje
	----- cm -----	-----	adim	t ha ⁻¹
B-15	108 a	1.50 b	12 a	17 a
H-419	114 a	1.86 a	11 a	22 b

¹ Diferentes letras indican diferencia significativa según la prueba de t, al nivel de probabilidad de 0.05.

tiene entre los dos genotipos a un 0.05 de nivel de significancia. Esta diferencia existente indica que ambos genotipos producen efectos diferentes sobre el rendimiento y a esto se debe la diferencia en forraje verde.

Para número de hojas, el análisis estadístico (Cuadro 1) muestra que B-15 tiene un número de hojas máximo de 12 y H-419 de 11 (Figura 4), esto por supuesto señala que no existe diferencia significativa

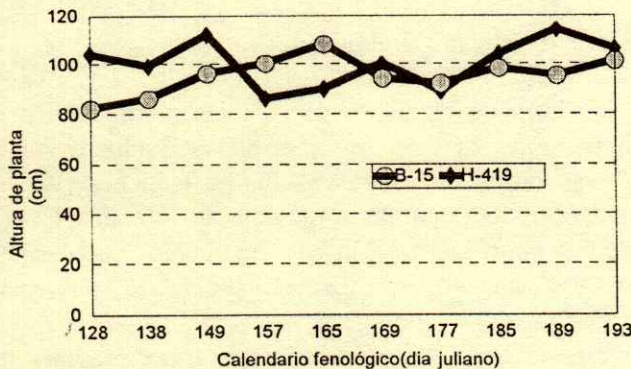


Figura 2. Altura de planta en genotipos de maíz. Rojo Gómez, Durango. 1995.

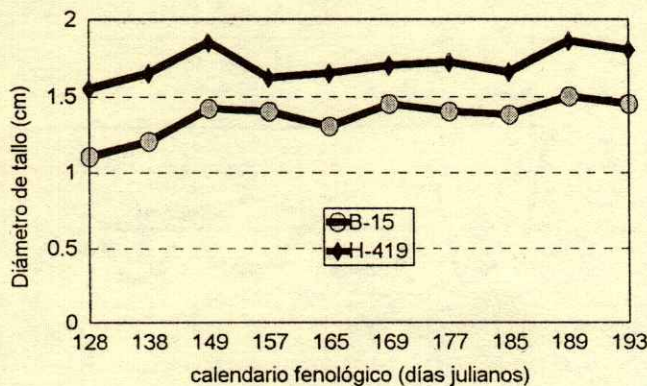


Figura 3. Diámetro de tallo en genotipos de maíz. Rojo Gómez, Durango. 1995.

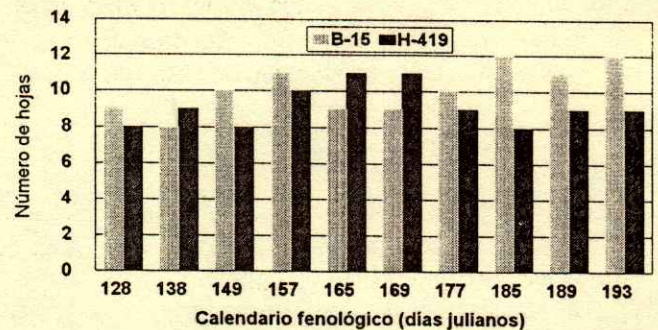


Figura 4. Número de hojas en genotipos de maíz. Rojo Gómez, Durango. 1995.

entre genotipos. Esto indica que los dos producen efectos similares sobre el rendimiento, es decir, que la variable número de hojas no incide sobre la diferencia en rendimiento de forraje verde.

Rendimiento de Forraje

La variable más importante que se analizó en este trabajo fue forraje verde, ya que por los motivos que se explican anteriormente no se pudo llegar a producción de grano. El análisis realizado mediante la prueba de "t" del Cuadro 1, indica que existe diferencia significativa entre ambos genotipos. Esto significa que B-15 y H-419 producen efectos diferentes y que, por lo tanto, debe seleccionarse como mejor genotipo H-419 que es híbrido, pero que bajo condiciones de cosecha de agua ha mostrado magnífica adaptación a las condiciones de clima. Se presentan rendimientos de forraje de 17 y 22 t ha⁻¹ para B-15 y H-419, respectivamente, con promedios de forraje de 14.7 t ha⁻¹ para H-419 y 12.3 t ha⁻¹ para B-15 en las diez repeticiones (Figura 5).

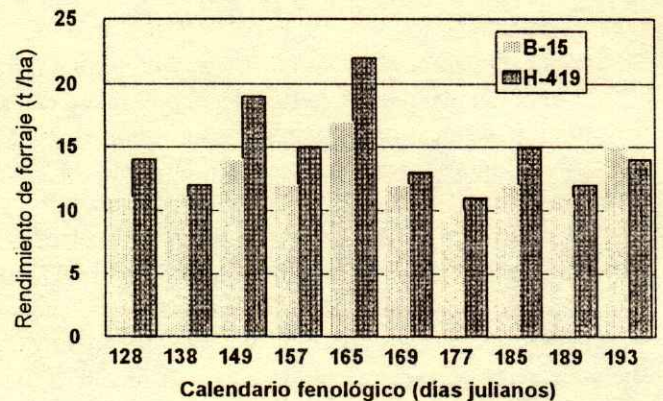


Figura 5. Rendimiento de forraje en genotipos de maíz. Rojo Gómez, Durango. 1995.

CONCLUSIONES

El genotipo que mejor se ha adaptado a las condiciones de suelo y clima es H-419 con buen rendimiento de forraje y con amplias perspectivas para establecerse a nivel comercial en Rojo Gómez, Dgo. Se demuestra que a pesar de que H-419 es un genotipo de riego, soporta largos periodos de sequía (40 a 50 días), y que bajo condiciones limitadas de humedad puede llegar a producción de grano o forraje, lo cual es una alternativa que se maneja también en este cultivo, es decir, doble propósito.

LITERATURA CITADA

- Cluff, L.M. 1976. Development of economic water harvest systems increasing water supply. Complete report. Tucson, Arizona, USDA.
- Chan, C.J.L., A.G. Bravo L. y F.J. Flores. 1987. Relaciones agua-suelo-planta-atmósfera del maíz de riego en zonas semiáridas. *Terra* 5: 132-139.
- Dirección de Estudios del Territorio Nacional. DETENAL. 1979. Descripción de la leyenda de la carta edafológica. DETENAL, México D.F. pp. 91-94.
- Fogel, M. y V.L. Lopes. 1990. Kinematic Theory, Hortonian overland flow. Handouts prepared for the class modeling of small watershed hydrology. School of Renewable Natural Resources. University of Arizona, USA.
- García, E. 1973. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana. Publicaciones Universidad Nacional Autónoma de México, México D.F.
- López M., J.D. 1991. Sistema de labranza en maíz. Informe técnico de investigación de FAZ-UJED. Gómez Palacio, Dgo.
- Magallanes, E.A. 1989. Memorias del XXII Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo. Centro de Edafología. Colegio de Postgraduados, Montecillo, México.
- Peña R., A. y R.J. Zapata. 1990. Respuesta de variedades precoces de maíz a condiciones de temporal deficiente. Tercera Reunión Nacional de Investigación Forestal y Agropecuaria. Aguascalientes, México. pp. 54-55.
- Pierre, W.H., D. Kirkham, J. Pesek y R. Shaw. 1965. Plant environment and efficient water use. American Society of Agronomy. Madison, Wisconsin.
- Sánchez C., I. 1994. Evaluating strip farming system for arid ecosystems. A stochastic approach. Ph.D. dissertation. University of Arizona.
- Salazar S., E. 1987. Evaluación de sistemas de producción en áreas beneficiadas con escurrimiento superficial. Proyecto de Investigación FAZ-UJED. Gómez Palacio, Dgo.
- Tapia V. L. M., F. Caballero H. y J. Alatorre. 1986. Respuesta del cultivo de maíz a la precipitación en el Valle de Apatzingan, Michoacán. XIX Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo. Texcoco, México. p. 126.
- Velasco M., H.A. y G. Carmona R. 1980. Cosecha de agua para consumo humano, pecuario y agricultura de temporal. Departamento de Suelos e Ingeniería Agrícola del Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey, Facultad de Agronomía de Universidad Autónoma de Nuevo León y Comisión Nacional de Zonas Áridas. Monterrey, Nuevo León.

USO Y PRODUCTIVIDAD DE LA MANO DE OBRA EN UNIDADES FAMILIARES DE PRODUCCION DEL TROPICO HUMEDO DE MEXICO, CON PRODUCTORES PARTICIPANTES Y NO PARTICIPANTES EN EL DESARROLLO Y ADAPTACION DE INNOVACIONES TECNOLOGICAS

Use and Productivity of Labor Force in Family Production Units of the Humid Tropics of Mexico, with Participating and Non-participating Small Farmers in the Development and Adaptation of Technological Innovations

Camacho Castro, René¹, Turrent Fernández, Antonio², Cortés Flores, José Isabel²,
Díaz Cisneros, Heliodoro³

RESUMEN

Se presentan los resultados obtenidos en cinco años de trabajo, sobre el uso y la productividad de la mano de obra de productores participantes (PP) y no participantes (PNP), en el desarrollo y adaptación de innovaciones tecnológicas para las unidades familiares de producción del trópico húmedo de México. Las tecnologías incorporadas fueron: (a) intensificación en el uso de insumos modernos (fertilizantes, variedades mejoradas, etc.); (b) la adaptación de equipo mejorado de tracción animal; y (c) la integración en las actividades agrícola y pecuaria. Los resultados muestran que hubo un ahorro de mano de obra de 50.8 jornales ha⁻¹ y la productividad promedio anual de mano de obra se incrementó de 35 kg de maíz jornal⁻¹ en 1981 a 53 kg en 1985 en los PP; en cambio, con los PNP fue de 31 kg de maíz jornal⁻¹ en todo el período de estudio.

SUMMARY

Use and productivity of labor force with participating and non-participating small farmers in the development and adaptation of new technologies were evaluated during a period of five years. The new technologies in small farmers farming practices

involved: (a) increased amounts of fertilizers, improved varieties of maize, etc.; (b) improved draft animal power agricultural equipment; and (c) integrated livestock agricultural activities. Participating small farmers spent 50.8 man-days ha⁻¹ less than non-participants. Labor force productivity per year was increased from 35 kg of maize man-day⁻¹ in 1981 to 53 kg of maize man-day⁻¹ in 1985 with participating peasants, however, non-participants maintained a labor force productivity of 31 kg of maize man-day⁻¹ year⁻¹ all the time.

INTRODUCCION

A pesar de la intensidad en el uso de la tierra de muchos patrones de cultivo practicados en el trópico húmedo de México, la productividad de este recurso es baja, debido en gran parte a la insuficiencia en el uso de insumos modernos, tales como los fertilizantes, pesticidas y semillas mejoradas. Sin embargo, para algunos autores (Comisión del Plan Nacional Hidráulico-CPNH, 1985; Turrent *et al.*, 1985) más grave aún es el problema de la baja productividad de la mano de obra, debido a que las pequeñas unidades familiares de producción (UFP) normalmente poseen inventarios de equipo agropecuario muy rudimentarios, lo que las obliga a realizar en forma manual muchas de las operaciones agrícolas. Esta situación es una de las principales causas de la ociosidad de las tierras de labor en el trópico.

En general, el recurso mano de obra de los pequeños productores campesinos es (a) abundante y al mismo tiempo ocioso y subempleado, debido al número de personas que componen el grupo familiar, a la pequeña superficie cultivable, a la estacionalidad de la producción agrícola y al tipo de cultivos practicados; (b) es de baja productividad por varios

¹ El artículo es parte de la tesis con que el autor obtuvo el grado de Doctor en Ciencias en el Programa de Edafología (PROEDAF) del Instituto de Recursos Naturales, Colegio de Postgraduados, Montecillo, Estado de México.

² PROEDAF, Instituto de Recursos Naturales, Montecillo, Estado de México.

⁴ PROEDERU, Instituto de Socioeconomía, Estadística e Informática, Colegio de Postgraduados, Montecillo, Estado de México.

motivos, pero principalmente porque el área sembrada no permite su plena ocupación durante todo el año (Ghodake *et al.*, 1981). El carácter estacional de la agricultura, por lo general, exige una alta demanda de mano de obra en períodos de tiempo cortos, como en época de siembra, deshierbe y cosecha; mientras que en otros períodos del año, que pueden ser prolongados, la demanda de este recurso es prácticamente nula; el área tan limitada en cultivo hace que los retornos al trabajo sean muy bajos, por lo que los productores prefieren descansar, el trabajo agrícola no es el único que tiene que ser atendido, con frecuencia otros trabajos como el del hogar, actividades fuera de la parcela y descanso, consumen más tiempo (Duckhan y Masefield, 1970; Mubarak y Byerlee, 1991).

El uso de tracción animal resulta en un incremento sustancial en la productividad de la mano de obra, principalmente porque permite aumentar la superficie por trabajador. Este incremento en la productividad es mayor cuando la tracción animal se combina con una tecnología mejorada que permita un uso intenso de la tierra (Zandstra, 1985).

La mecanización con tracción animal tiende a suavizar las demandas estacionales críticas de mano de obra, al permitir una reducción de 25 % en la fuerza de trabajo utilizada por hectárea, y de 10 % cuando se incluye el cuidado de los animales. Asimismo, la versatilidad de la tracción animal permite, también, mantener la intensidad de cultivos tradicionales, que es característica entre los pequeños productores. Presenta, adicionalmente, la ventaja de poder usarse en suelos con alto contenido de humedad (Harwood, 1979; FAO, 1992).

Cuando se introduce tecnología intensiva en insumos, como semillas mejoradas, insecticidas y fertilizantes, sin cambiar la fuerza de potencia, el período crítico se acentúa en la cosecha, debido al incremento en el rendimiento. Con un cambio de fuerza, de la humana a la animal, para la preparación del suelo, se acentúa en el período del deshierbe por que se preparan áreas más grandes que tienen que ser deshierbadas. Finalmente, una combinación de fuerza animal con un equipo mejorado de preparación de suelo, equipo sembrador-fertilizador y para control de hierbas, junto con una tecnología mejorada que permita un uso intensivo de la tierra, tiende a acentuar el período crítico en la cosecha, aunque esto puede resolverse, en parte, con el uso de una carreta para el transporte de los productos (Norman *et al.*, 1981).

Por otro lado, las pequeñas UFP generalmente tienen animales, a la vez que actividades agrícolas. No obstante, existe poca integración entre esas actividades, desperdiándose así valiosos recursos que bien podrían transformarse en alimentos para la población.

Varios estudios (Lee, 1980; Singh *et al.*, 1981; FAO, 1992) muestran que existe una complementariedad entre la actividad agrícola y pecuaria, siendo ésta más prominente en predios pequeños. Por lo tanto, se menciona que la integración agropecuaria es una de las alternativas promisorias para incrementar la productividad de los escasos recursos del pequeño productor: tierra, mano de obra y capital. Además, demanda de una cantidad mayor de mano de obra que cuando las dos actividades se realizan en forma separada, y la importancia relativa de la mano de obra familiar es mayor en los sistemas de producción integrados. Se indica también que, en términos generales, con la integración de la ganadería de leche junto a la siembra de cultivos, se incrementa el empleo de la mano de obra en 34 % en predios pequeños.

Por otra parte, la tecnología generada por las instituciones de investigación bajo un enfoque disciplinario, resulta muy difícil integrarla para resolver problemas de las UFP, las que por lo general están diversificadas y operan como un sistema.

Lo descrito previamente sugiere la necesidad de un abordaje integral, holista, de los problemas de las pequeñas UFP campesinas. Por ello, el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), Colegio de Postgraduados (CP) y el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) desarrollaron en la región de Los Tuxtlas, Veracruz, de 1981 a 1987, un proyecto denominado "Desarrollo de un Prototipo Agropecuario y Forestal Integral" con el propósito de mejorar (a) la productividad de la tierra, a través de la intensificación en el uso de agroquímicos, variedades mejoradas, y la introducción de especies frutales, maderables y forrajeras; (b) la productividad de la mano de obra, mediante la adaptación y desarrollo de maquinaria agropecuaria para la pequeña UFP; (c) la conservación del suelo y el agua, a través de la adaptación de prácticas para el control de la erosión; (d) la integración agropecuaria, mediante el aprovechamiento de los esquilmos agrícolas para la alimentación del ganado; y (e) el mejoramiento del manejo postcosecha.

El presente trabajo aborda sobre el segundo propósito y la hipótesis es la siguiente: La incorporación de equipo agrícola mejorado de tracción animal, en las unidades familiares de producción incrementa de manera significativa la productividad de la mano de obra en las(s) actividades(es) agrícola(s), permitiendo con ellos explotar mayor superficie de cultivo y realizar otras actividades productivas, principalmente la ganadería.

MATERIALES Y METODOS

Características Edafo-climáticas, Tecnológicas y Recursos del Productor en el Area del Proyecto

El presente trabajo se desarrolló en el ejido "Juan Jacobo Torres" (EJTT), Veracruz. El clima es cálido subhúmedo con lluvias en verano (AW_2), con una precipitación media anual de 1700 mm y una temperatura media de 25 °C.

Ochenta por ciento de los suelos del EJTT son profundos, pesados y de lento drenaje, clasificados como vertisoles. Se encuentran localizados en lomeríos con dos a 10 % de pendiente, sujetos a procesos medianos a severos de erosión. En estos suelos se obtienen dos cosechas de maíz por año agrícola, una en el ciclo primavera-verano (P-V) o temporal (junio-octubre) y la otra en el ciclo otoño-invierno (O-I) o tapachole (noviembre-abril). El 20 % restante son suelos con buen drenaje, fluvisoles y molisoles. En estos suelos se obtienen además de las dos cosechas obtenidas en vertisoles, una tercera cosecha: frijol de otoño, que se siembra en septiembre, después de haber doblado el maíz de P-V.

Los vertisoles imponen serias restricciones en su manejo agrícola; presentan lenta permeabilidad en épocas de alta humedad, y una gran dureza y agrietamiento en época de sequía. En cambio, en los molisoles no hay problemas de excesos de humedad en el ciclo P-V; pero si las lluvias son escasas (< 150 mm) en el período noviembre-marzo, el productor debe conformarse con la cosecha de P-V y la de frijol de otoño, únicamente.

La dotación ejidal es de 12 ha divididas en dos fracciones separadas de seis hectáreas cada una más 600 m² del solar en la zona urbana, donde el productor tiene construida su casa.

La mayoría de los productores en 1981 dedicaban entre tres y cuatro hectáreas al cultivo de básicos (maíz y frijol). El resto de la tierra estaba prácticamente subutilizada con acahual joven (dos a

tres años de edad) en ocasiones mezclado con algún pasto nativo. Solamente 15 % de los productores poseían entre dos y cinco bovinos para leche y carne, que los alimentaban en el acahual antes mencionado. La mayoría de los productores poseían uno a dos caballos para el transporte y para realizar labores de cultivo en la parcela, los cuales en parte también se alimentaban del acahual. Aproximadamente 20 % de los productores aún conservaban entre 0.5 y 1.0 ha de acahual mayor de siete años de edad, del cual obtenían leña y materiales de construcción.

El patrón de cultivos más importante se denomina técnicamente como maíz de P-V con sucesión de maíz de O-I (maíz S maíz), el cual predomina al menos en 80 % de las parcelas y lo practican alrededor de 90 % de los productores del EJTT. Aproximadamente la mitad de los productores preparan la tierra (aradura) con tractor, la otra mitad lo hace con yunta, machete y herbicidas (labranza cero). Las labores culturales (excepto el control de hierbas donde se combina la tracción animal y humana) se realizan manualmente. Se requieren entre 60 y 70 jornales para producir una hectárea de maíz en P-V y O-I, respectivamente.

El uso de insumos modernos es muy limitado. Aproximadamente 70 % de los productores usan fertilizante nitrogenado, quienes en general aplican tres bultos de urea ha⁻¹ (69 kg de N). En 1993, ningún productor indicó haber usado fósforo ni semillas mejoradas.

La familia está representada por el titular de la parcela o el jefe de familia. Más de la mitad de las familias están integradas por dos o tres subfamilias representadas por hijos o yernos casados, viviendo en la misma casa del productor. Generalmente cada familia tiene ocho miembros, si bien la cifra puede variar entre cinco y 19 miembros. La disponibilidad de jornales efectivos día⁻¹ familia⁻¹ (hombres mayores de 17 años de edad) oscila entre uno y cinco jornales.

Se trabajó con cuatro familias quienes participaron en el proceso operativo de la investigación con los recursos disponibles en sus unidades de producción (tierra, mano de obra y ocasionalmente su escaso capital). Tres productores participaron con seis hectáreas cada uno y uno participó con 12 hectáreas. Se integró un equipo técnico, formado por tres agrónomos especialistas en edafología y una trabajadora social, el cual recibía asesoría externa de un ingeniero mecánico, un pecuario y un antropólogo social, quienes pretendían llevar a niveles óptimos de productividad el prototipo que se describirá posteriormente.

Estrategia y Prototipo de Producción Alterno

El trabajo se inscribe en el ámbito de cambio a nuevos sistemas (Simmonds, 1983) lo cual implica un cambio estructural y de funcionamiento de las UFP en contraste con el cambio en la intensificación en el uso de insumos. Por ejemplo, el incremento en los rendimientos de cultivos a través de la intensificación en el uso de fertilizantes y plaguicidas, así como de la accesibilidad de los servicios para su oportuna y correcta aplicación.

El prototipo planteó el manejo integral de los subsistemas agrícola y pecuario. Se consideró que la tierra fuera explotada de acuerdo con su capacidad de uso. Así, las tierras con pendientes suaves se utilizarían para los cultivos y las de mayor pendiente para la construcción de un establo y para la siembra de *Leucaena leucocephala* (0.25 ha por UFP), la que junto con los subproductos del subsistema agrícola y subproductos de la industria (melaza, pollinaza, etc.) aportarían la mayor parte de los requerimientos nutricionales del ganado lechero, el cual a la vez aportaría estiércol para restituir en parte la fertilidad de los suelos. Otra alternativa para tierras con fuerte pendiente fue la siembra de árboles frutales.

Para la conservación del suelo y el aprovechamiento del agua de lluvia, se adaptó el sistema de manejo de subcuencas ICRISAT (Krantz *et al.*, 1978), el cual involucra el concepto de mínima labranza y, por lo tanto, incrementa grandemente la productividad de la yunta, en relación con el sistema tradicional.

Para incrementar la productividad de la mano de obra, el raquíco inventario de equipo agropecuario que poseían los productores, se complementó con un equipo moderno, sencillo, de tracción animal denominado yunticultor y cuyo uso está implícito en el sistema ICRISAT. El yunticultor es un equipo de múltiples propósitos, capaz de ejecutar casi todas las operaciones que pueden ser hechas por un tractor (Sims, 1983). Durante el desarrollo del presente trabajo, dicho equipo sufrió muchas modificaciones para adecuarlo a las condiciones locales de suelo y clima, dado que había sido desarrollado para condiciones más benignas.

La estrategia incluyó explícitamente la integración agropecuaria en las pequeñas UFP, aprovechando que éstas cuentan ya con algunos animales (bovinos, equinos, porcinos y aves), y que los productores conocen de su manejo. El subsistema pecuario propuesto elimina el manejo del ganado en tierras

aptas para los cultivos. El ganado debería manejarse semiestabulado, ocupando aquellas áreas con mayor pendiente, mediante el establecimiento de infraestructura (corrales, comederos, estercoleros, silos, etc.) para su manejo. Los animales habrían de alimentarse con una ración previamente diseñada cuyos componentes son: rastrojo picado, gallinaza, melaza y sales minerales. Además, se habría de complementar con una hora de pastoreo diferido de *L. leucocephala*.

Adaptación y/o Desarrollo de Tecnología

Se programó la introducción de las tecnologías por subsistema en forma secuenciada, es decir, hasta que no se tuviera un conocimiento y manejo profundo del subsistema agrícola, deberían iniciarse los trabajos del subsistema pecuario. Debido a las interacciones existentes entre los factores (por ejemplo, densidad de población por fertilización) dentro de un mismo subsistema, si se había programado trabajar con más de dos tecnologías a la vez. En 1981 se iniciaron los trabajos con la adaptación y desarrollo de tecnologías para el subsistema agrícola dentro del ciclo P-V.

La secuencia fue de la manera siguiente: (1) establecimiento del sistema ICRISAT; (2) adaptación y desarrollo de implementos para la labranza primaria (aradura). Los implementos originales para labranza primaria convencional fueron totalmente cambiados debido a la poca resistencia de los materiales (sobre todo en vertisoles). El proceso culminó en 1985 con un equipo de cinceles, que mostró amplias posibilidades para funcionar en los casos más extremos de suelo y clima regional. Como consecuencia hubo un cambio de labranza convencional a labranza reducida; (3) adaptación del equipo sembrador-fertilizador. Después de cuatro a cinco años de problemas con el prototipo original (engranes que no giraban debido a superficies ásperas por residuos de fundición, imperfecciones de los discos que regulaban la salida de semilla y el fertilizante) quedó afinado el nuevo equipo para trabajar bajo condiciones de humedad y en seco en los dos ciclos de cultivo; (4) adaptación del equipo cultivador. El trabajo con el equipo original demostró rápidamente su inadaptabilidad para el control de hierbas bajo las condiciones locales. Hubo también que realizar una serie de cambios que culminaron en 1985 con un equipo de gran versatilidad para trabajar bajo diferentes condiciones de humedad del suelo y residuos sobre la superficie; (5) combate de plagas en

el follaje. Se desarrolló y adaptó al yunticultor una bomba aspersora que era accionada con la misma energía de la yunta, lo que permitió realizar rápidamente el control de hierbas y con menos esfuerzo por parte del productor. (6) adaptación al yunticultor de dos versiones de carreta para hacer eficiente el transporte, de la parcela a la comunidad y *viceversa*.

Las tecnologías anteriores resolvían también problemas del ciclo O-I. Sin embargo, hubo que desarrollar tres tecnologías más para este ciclo. Tales fueron: (a) "acordonado" (consiste en cortar las cañas dobladas del maíz de P-V, aún sin cosechar y colocarlas paradas en forma de cordón, cada siete camas de siembra, quedando un espacio libre de 8 m para la mecanización de la siembra en el ciclo O-I); (b) desarrollo de equipos para la recolección de residuos de cosecha; y (c) una barra doble fija al yunticultor y rejas aporcadoras acopladas a dicha barra, lo que permitió el control de malezas en condiciones de alta humedad en el suelo y evitó el problema de amontonamiento de residuos, que se presentaron cuando se usó el equipo cultivador original.

A partir del año agrícola 1984-1985 se inició la adaptación y desarrollo de tecnología para el subsistema pecuario. Las principales fueron (1) manejo semiestabulado de la ganadería de ordeña y (2) el desarrollo de tecnología para el aprovechamiento de los rastrojos. El plan era que cada productor manejara dos vacas lecheras por cada hectárea cosechada de maíz, con lo cual obtendría leche, carne y estiércol, además del grano.

En el proceso previamente descrito se considera un primer período de adaptación y acondicionamiento del prototipo (primeros dos a tres años de trabajo) y un segundo, denominado de afinación y madurez de las tecnologías (últimos dos a tres años de trabajo).

Convenio con los Productores

Los acuerdos realizados con los productores participantes fueron: (1) los miembros del equipo técnico habrían de proponer los cambios necesarios para mejorar la productividad del sistema agropecuario, considerando siempre la opinión del productor; (2) la infraestructura requerida sería construida con los recursos asignados a la investigación (provistos por el CONACYT y el INIFAP). Por su parte, el productor aportaría toda o parte de la mano de obra requerida, mientras ésta no

interfiriera con las labores normales de producción de cultivos. Al término de la investigación la infraestructura le sería donada al productor; (3) el proyecto costearía el equipo agropecuario y animales de trabajo (bueyes), y los productores se responsabilizarían de su cuidado, pudiendo adquirirlos posteriormente bajo condiciones de crédito favorables; (4) el proyecto destinaría recursos para la adquisición de insumos para la producción (fertilizantes, pesticidas, semillas, etc.), los cuales deberían ser entregados con oportunidad a los productores, en tanto que ellos se comprometían a reintegrar los recursos correspondientes al finalizar el año agrícola.

Planteamiento Experimental

Se considera el estudio de dos grupos de productores: participantes (PP) y no participantes (PNP). El primero se refiere a cuatro productores que fueron seleccionados al inicio del proyecto (1981) y quienes en mayor o menor grado incorporaron a su sistema agrícola tradicional una serie de innovaciones tecnológicas propuestas por él mismo. Estos productores participaron con 6 ha cada uno.

El segundo grupo estuvo representado por un grupo heterogéneo de agricultores quienes usaron su tecnología tradicional, si bien empleando insumos modernos (maquila, fertilizantes y pesticidas). Ellos fueron elegidos al azar de la lista de ejidatarios, decidiéndose en cada ciclo hacer un muestreo con 10 % del total de productores.

Uso y Productividad de la Mano de Obra Agrícola

En cada ciclo (P-V y O-I) de los primeros cinco años de trabajo se recabó información sistemática respecto a los requerimientos de mano de obra por parte de la tecnología propuesta. Se realizaron entrevistas semanales a cada PP, registrándose las actividades realizadas por cada familia en cada uno de los días del año agrícola. Así, se registró la cantidad de jornales (de ocho horas) que cada uno de los PP usó en las actividades agrícolas. Al finalizar cada ciclo agrícola se aplicó un cuestionario a 10 % de los PNP, con el fin de conocer los requerimientos de mano de obra de la tecnología tradicional.

Se registró también el número de hectáreas cultivadas por los PP en cada ciclo agrícola. Esta información se utilizó para el cálculo de mano de obra (jornales ha⁻¹). Asimismo, para cada productor (PP y PNP) se estimó el rendimiento de maíz con 14 % de

humedad para cada ciclo agrícola en los primeros cinco años de trabajo. El número de muestras que se tomaron por parcela dependió de la superficie cultivada y en ocasiones del tiempo disponible, sin embargo, en virtud de la razonable precisión requerida, nunca se tuvo un número menor que nueve muestras por hectárea.

Para conocer el nivel de insumos utilizado por los PP, se buscó siempre identificar la tecnología usada, la cual varió desde aquellos que en algún ciclo prácticamente no usaron las innovaciones propuestas, hasta aquellos que usaron la totalidad de las mismas. La información sobre la cantidad de insumos requeridos por la tecnología tradicional, se obtuvo de la manera descrita para obtener los requerimientos de mano de obra.

Para evaluar la cantidad de mano de obra requerida en la actividad agrícola, se consideró como indicador a la relación entre la cantidad de trabajo humano (jornales) invertido en el proceso de producción y la retribución en producto (maíz) obtenido en dicho proceso. Se calculó un margen bruto familiar (MBF) cuyos valores se usaron para obtener el indicador de la productividad de la mano de obra. Los valores del MBF se obtuvieron descontando de la producción, el costo (en kg de maíz) de los insumos empleados. Así, el indicador de productividad se obtuvo al dividir la producción obtenida entre el total de jornales empleados; si bien después de haber descontado a la producción los gastos (en kg de maíz) en insumos que reclamó el proceso de producción.

Uso y Productividad de la Mano de Obra en el Subsistema Pecuario

Por la relación tan estrecha entre las actividades agrícola y pecuaria de las UFP, se evaluó el uso de mano de obra en la actividad pecuaria a la vez que su relación con la actividad agrícola de la misma UFP respecto a superficie cultivada y uso de mano de obra. Se reconocieron dos situaciones: (1) antes del manejo semiestabulado de la ganadería de ordeña y (2) después de éste. En cada una se incluyó la superficie cultivada (antes y después) y la mano de obra utilizada en cada una de las actividades (agrícola y pecuaria).

Cada semana se preguntó a los PP sobre la cantidad de jornales que emplearon en la actividad

pecuaria. Antes de 1984 los jornales se referían al manejo de la yunta empleada en las actividades agrícolas. A partir de 1984-1985 (fecha en que los PP incluyeron la ganadería semiestabulada en sus fincas) la mano de obra empleada se refiere además a: (1) construcción de la unidad pecuaria; (2) corte, transporte y picado de rastrojo; (3) ordeña; y (4) cuidados en general del ganado. La información sobre producción de leche fue recolectada por un técnico quien pesaba la producción una vez por semana.

Para el caso de los PNP, no fue posible recabar información sistemática para cada uno en cada año y ciclo; se obtuvo en cambio una estimación de los requerimientos de mano de obra por parte de la tecnología tradicional empleada por ellos. Esto se logró entrevistando a la mayoría de los productores de la comunidad que poseían ganado.

Conviene advertir que se buscó (a propósito) comparar la actividad ganadera del prototipo con la mejor de la región, para tener una comparación más estricta. Así, se seleccionó a un PNP como productor testigo (PT) cuya explotación se ubica en suelos aluviales del río San Andrés (el cual cruza los terrenos del EJJT), con pastura abundante en el estiaje, lo que no ocurre en vertisoles y molisoles predominantes en la comunidad.

Para evaluar la productividad de la mano de obra empleada en la actividad pecuaria, se usó como indicador a la expresión kg de leche por jornal invertido, lo cual se obtuvo dividiendo la producción total anual de leche entre los jornales empleados en el mismo año. Se analizaron, además, otros valores relacionados al indicador de productividad tales son: (1) vacas en producción por año, (2) días en producción por vaca, (3) producción diaria por vaca; además, dada la disponibilidad de información del PT que manejó la actividad con la tecnología tradicional (libre pastoreo tipo "rejeguería"), se pudieron establecer comparaciones entre PP y el PT. Este último no maneja la actividad agrícola.

La información se analizó mediante un análisis combinado de varianzas, bajo el supuesto que los errores se distribuyen normalmente. Se usó la interacción de mayor orden para estimar el error. Cuando se requirió hacer comparaciones entre PP y PNP se usó como el error el mismo del ANVA en virtud de no disponer de medida del error para el caso de los PNP.

Cuadro 1. Mano de obra (jornales ha⁻¹)[†] invertida en la actividad agrícola por los productores participantes (PP), durante cinco años agrícolas.

Prod.	1981-1982			1982-1983			1983-1984			1984-1985			1985-1986		
	P-V	O-I	AN [‡]	P-V	O-I	AN	P-V	O-I	AN	P-V	O-I	AN	P-V	O-I	AN
JS	59.3	99.1	158.4	97.3	70.0	167.3	55.9	73.4	129.3	65.1	44.3	109.4	53.6	46.3	99.9
AS	72.9	92.8	165.7	70.1	128.2	198.3	82.5	87.9	170.4	55.2	34.2	89.2	48.2	27.8	76.0
FX	44.2	62.2	106.4	55.7	84.1	139.8	42.2	83.8	126.0	67.5	53.2	120.7	42.1	21.7	63.8
PL	47.2	35.4	82.6	62.9	51.7	114.6	50.4	44.8	95.2	57.5	58.8	116.3	49.0	36.9	85.9
Prom.	55.9	72.3	128.2	71.5	83.5	155.0	57.8	72.5	130.3	61.3	47.6	108.9	48.2	33.2	81.4

[†] Los valores resultan de dividir el total de jornales empleados entre el número de ha cultivadas. La actividad agrícola se refiere al cultivo de maíz de primavera-verano (P-V) y de otoño-invierno (O-I); los valores anuales incluyen a ambos.

[‡] AN = Anual.

RESULTADOS Y DISCUSION

Uso y Productividad de la Mano de Obra Agrícola

El Cuadro 1 registra la cantidad de jornales por ha que requirió la tecnología propuesta para el patrón de cultivos maíz S maíz para los cuatro PP durante los primeros cinco años agrícolas de desarrollo del proyecto (1981-1986). Para cada año de estudio se presentan los valores usados por cada productor de acuerdo con la estructura del sistema agrícola, anotándose para cada ciclo productivo los jornales que se usaron desde la preparación del suelo hasta la cosecha del cultivo.

En la Figura 1 se muestra la distribución de la mano de obra en la patrón de cultivos maíz S maíz, durante el año agrícola 1981-1982, que corresponde al primer año de operación del proyecto. La curva superior indica la mano de obra total invertida en cada semana y la inferior la mano de obra familiar. La diferencia entre las dos representa la asalariada. Hay periodos en que las dos líneas coinciden e indica que no se contrata mano de obra adicional. Se observa un uso promedio de 26 h semana⁻¹ ha⁻¹, valor que se usa como criterio para separar los periodos de alta demanda, de aquéllos de poca demanda actividad agrícola.

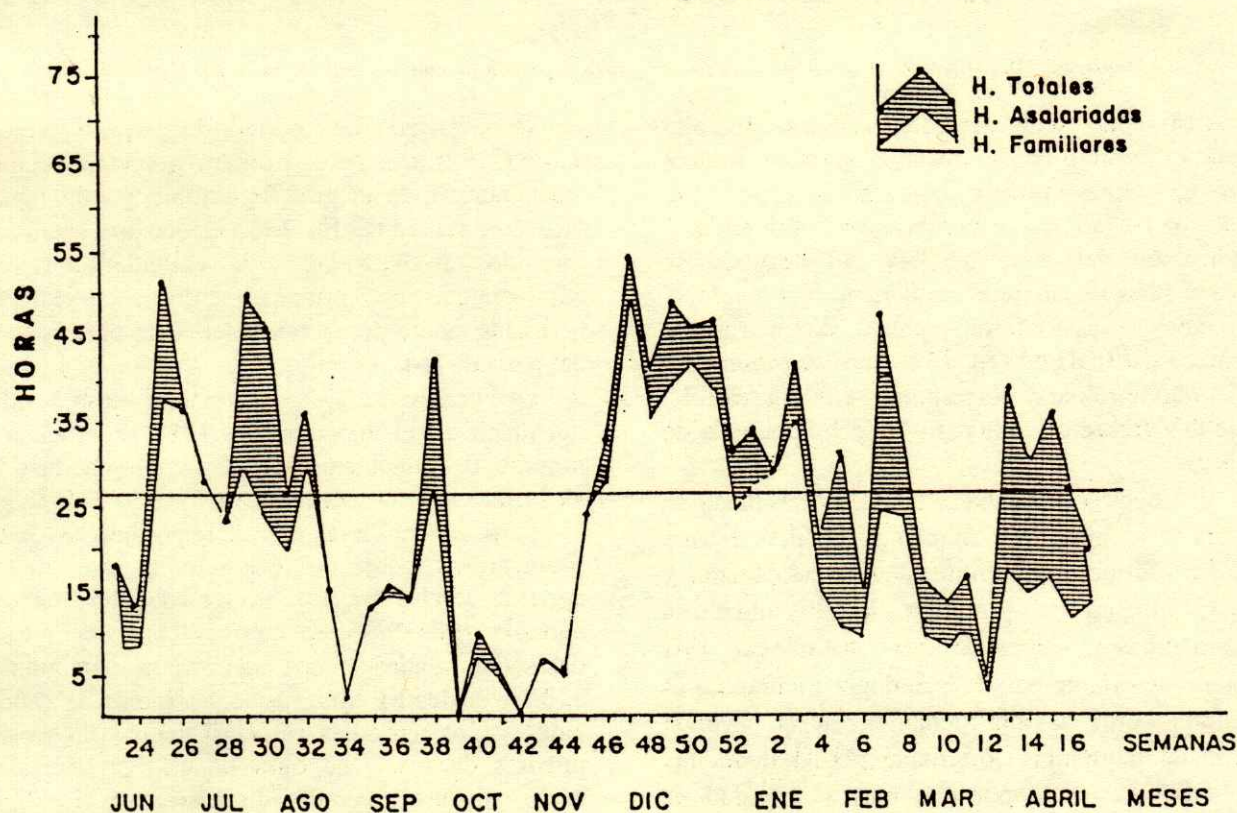


Figura 1. Distribución de mano de obra (h ha⁻¹) para el patrón de cultivos maíz S maíz. 1981/1982.

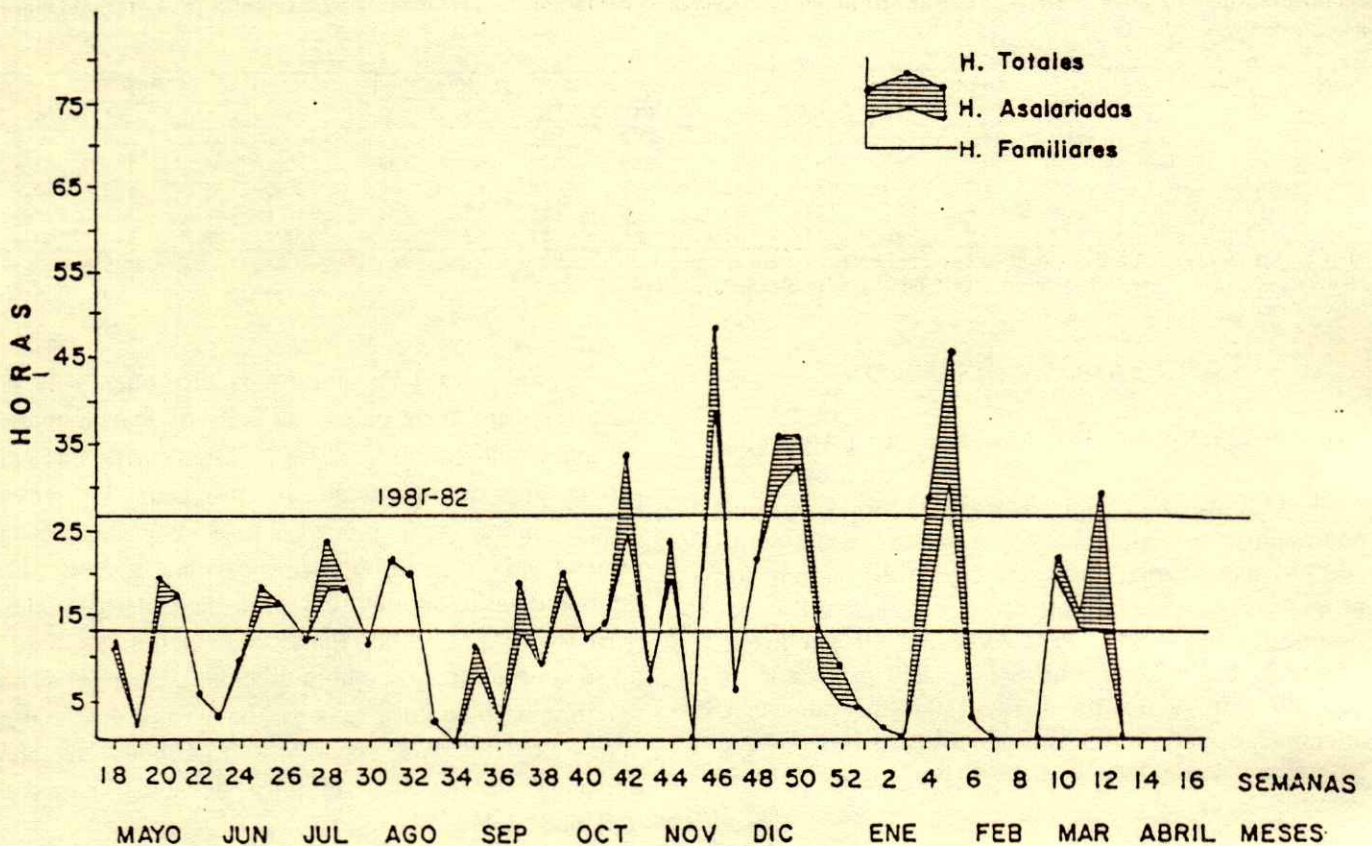


Figura 2. Distribución de mano de obra ($h\ ha^{-1}$) para el patrón de cultivos maíz S maíz. 1985/1986.

Se distinguen tres períodos críticos de alta demanda: el primero ocurre desde la segunda semana de junio, todo julio y primera quincena de agosto, que coincide con las labores de siembra, control de hierbas y fertilización del maíz de P-V. El segundo se presenta a fines de noviembre, diciembre y enero, y corresponde a la siembra, control de hierbas y fertilización del maíz de O-I. El tercero se presenta al final del año agrícola y corresponde a la cosecha del maíz de P-V (febrero y marzo) y cosecha del maíz de O-I (abril).

La distribución de la mano de obra presentada en la Figura 1 se aproxima mucho a la del sistema tradicional ya que en el primer año de adaptación y acondicionamiento del prototipo, los PP utilizaron todavía algunas prácticas de dicha tecnología. Una diferencia importante con la tecnología tradicional es un período corto de alta demanda en la segunda quincena de septiembre, originado por la dobla del maíz de P-V, causado por una mayor densidad de población.

Se presenta un período de poca actividad desde finales de agosto, primera quincena del mes de septiembre, todo el mes de octubre y principios del mes de noviembre. En este período los suelos están saturados de humedad y la actividad agrícola es baja, realizándose principalmente la aplicación de herbicida, como preparación del suelo para la siembra del maíz de O-I.

En la Figura 2 se presentan los resultados obtenidos en el año agrícola 1985-1986, cuando el proceso de adaptación de la tecnología casi había alcanzado 100 %, sobre todo en el ciclo de P-V.

Se puede observar que el requerimiento semanal promedio se redujo de $26\ h\ semana^{-1}\ ha^{-1}$ en el año agrícola 1981-1982 a $13\ h\ semana^{-1}\ ha^{-1}$ en el año agrícola 1985-1986, lo cual es consistente con los datos del Cuadro 1, que muestra la disminución de $128.2\ jornales\ ha^{-1}\ año^{-1}$ a $81.4\ jornales\ ha^{-1}\ año^{-1}$, en ambos años agrícolas respectivamente. Los requerimientos de mano de obra para la preparación del suelo, siembra, control de hierbas y fertilización del maíz de P-V, se redujeron de manera importante

Cuadro 2. Análisis de varianza para la variable mano de obra por hectárea.

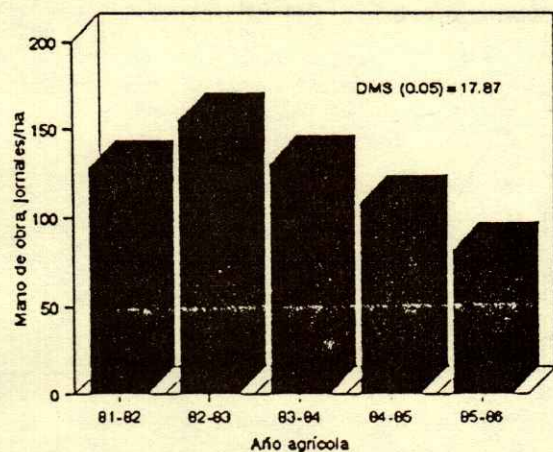
Factor de variación	GL	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	F ^c	F ^t , 5 %
Años, A	4	6016.6165	1504.1541	5.59**	3.26
Ciclos, C	1	82.9440	82.9440	0.31	2.75
A x C	4	2012.6885	503.1721	1.87	3.26
Productores, P	3	2698.0940	899.3646	3.34	3.49
A x P	12	3754.6535	312.8878	1.16	2.69
C x P	3	531.4660	177.1553	0.66	3.49
Error	12	3229.8015	269.1501		
Total	39	18326.2640			

debido a un mayor grado de mecanización de dichas operaciones. Durante la cosecha de maíz de P-V (enero y febrero) hay un requerimiento más alto de mano de obra debido a que los rendimientos se incrementaron y no existía aún una alternativa tecnológica para la mecanización de dicha práctica.

Al realizar el análisis de varianza (Cuadro 2) con la información del Cuadro 1, se encontró que el único efecto que resultó altamente significativo fue el de factor años.

El efecto de años se muestra gráficamente en la Figura 3, donde se observa que el uso de mano de obra fue alta (primeros años del proceso de adaptación de la tecnología y acondicionamiento del prototipo en general) y gradualmente fue disminuyendo, hasta alcanzar su valor mínimo en 1985-1986.

En el Cuadro 3 se muestran la tendencia y los promedios de los valores observados de la mano de obra requerida con la incorporación de las innovaciones tecnológicas en comparación con la invertida con la tecnología tradicional (PNP). Tomando en cuenta el promedio sobre cinco años se observa que existe una diferencia significativa de

**Figura 3.** Mano de obra invertida por hectárea a través del tiempo.**Cuadro 3.** Mano de obra ((jornales ha⁻¹) invertida en la actividad agrícola en comparación con los requerimientos de la tecnología tradicional usada por los productores no participantes (PNP).

Año agrícola	Uso de mano de obra		
	P-V	O-I	Annual
		jornales ha ⁻¹	
1981-1982	55.9	72.3	128.2
1982-1983	71.5	83.5	155.0
1983-1984	57.8	72.5	130.3
1984-1985	61.3	47.6	108.9
1985-1986	48.2	33.2	81.4 (18.7) [†]
Promedio	58.9	61.8	120.7
Promedio PNP	60.8	71.4	132.2 (9.8) [‡]
Diferencia	1.9	9.6	11.5

[†] DHS al 5 % que compara el año agrícola 1985-1986 con el promedio de PNP.

[‡] DHS al 5 % entre grupos de productores.

11.5 jornales ha⁻¹ a favor de los PP. Puede observarse que en el año agrícola 1985-1986 (cuando se había alcanzado casi 100 % de madurez de la tecnología) la tecnología mejorada reclamó de 81.4 jornales ha⁻¹ versus 132.2 jornales ha⁻¹ en promedio requeridos por la tecnología tradicional. Esto es, un ahorro de 50.8 jornales ha⁻¹ en favor de la primera resultando altamente significativo. El número total de hectáreas cultivadas por los PP por año fue de 8.01, por lo tanto, el ahorro en mano de obra ascendió a 406.4 jornales UFP⁻¹ en un año dado. A precios de 1987 (\$ 2000 jornal⁻¹ y \$ 175 000 t⁻¹ de maíz), los 406.4 jornales equivalían a 4.64 t de maíz y a precios de 1993 (N\$ 15 jornal⁻¹ y N\$ 750 t⁻¹) equivalía a 8.13 toneladas. Los datos anteriores muestran claramente que la tecnología propuesta a los PP disminuyó la cantidad de trabajo, o en otras palabras, expulsó mano de obra del proceso productivo. Enseguida se analiza como se usó la mano de obra expulsada.

En el maíz de P-V fue hasta el año agrícola 1985-1986 (cuando se tuvo el equipo afinado) cuando se alcanzó una reducción clara de la mano de obra. En el caso del ciclo O-I, en los primeros tres años (etapa de ajuste del equipo) prácticamente no hubo diferencia, en tanto que a partir del tercer año se empezó a notar la influencia de un mayor grado tecnológico, debido a la reducción de jornales en relación con los primeros tres años.

Por otra parte, la mano de obra (MO) requerida por ha es una función también del rendimiento: a mayor rendimiento mayor MO, principalmente por el número mayor de jornales que demanda la cosecha. Entonces, el menor requerimiento de MO en el

Cuadro 4. Asociación entre precipitación y rendimiento de maíz, durante cinco años agrícolas.

Año	Ciclo primavera-verano		Ciclo otoño-invierno	
	Precipitación ¹ mm	Rendimiento t ha ⁻¹	Precipitación ² mm	Rendimiento t ha ⁻¹
1981-1982	1219	2.00	302	2.44
1982-1983	649	2.97	187	3.07
1983-1984	1013	2.72	373	1.76
1984-1985	956	3.03	166	1.38
1985-1986	840	3.30	155	1.03

¹ Cubre del 15 de junio al 15 de septiembre.

² Cubre del 1 de noviembre al 31 de marzo.

ciclo O-I en los últimos años podría deberse en parte a menores rendimientos (Cuadro 4) ocasionados por falta de lluvia. Lo anterior no sería el caso del ciclo P-V.

A partir de los datos de productividad de la mano de obra se realizó el análisis de varianza (Cuadro 5), el cual indicó efectos significativos del factor ciclo y de las interacciones año por ciclo y ciclo por productor.

Al analizar la interacción año por ciclo (Figura 4) se observa que en el ciclo P-V hay un incremento notable en la productividad de la mano de obra casi todo el tiempo y sucede lo contrario en el ciclo O-I. La diferencia promedio entre ciclos fue de 16 kg de maíz en favor del ciclo P-V. Esto parece obvio, ya que antes se explicó que en el ciclo P-V se obtiene una mayor producción, debido a las condiciones ecológicas más favorables.

La baja productividad de la mano de obra en el ciclo O-I en los últimos años se acentúa aún más por la disminución en los rendimientos del ciclo O-I 1985-1986, debido a que durante la estación de crecimiento (1 de noviembre al 31 de marzo) se registró la precipitación más baja de los primeros cinco años de trabajo (Cuadro 4).

La productividad de la mano de obra para los PP fue de 35 kg de maíz jornal⁻¹ en el año agrícola

Cuadro 5. Análisis de varianza para la variable productividad de la mano de obra por hectárea.

Factor	GL	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	F ^c	F ^t , 5 %
Años, A	4	431.65	107.91	0.60	3.26
Ciclos, C	1	2592.10	2592.10	14.50**	4.75
A x C	4	2966.15	741.54	4.51*	3.26
Productores, P	3	1757.40	585.80	3.28	3.49
A x P	12	2313.35	192.78	1.08	2.69
C x P	3	2322.50	774.16	4.33*	3.49
Error	12	2145.25	178.77		
Total	39	14528.40			

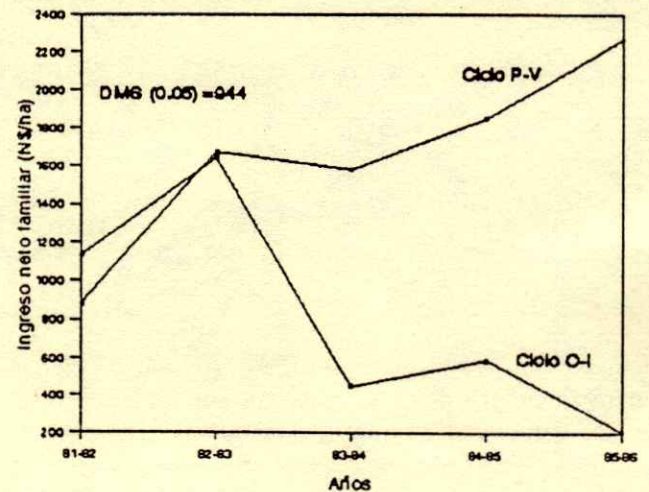


Figura 4. Interacción año por ciclo para la variable productividad de la mano de obra.

1985-1986, cuando se había alcanzado casi 100 % de afinación de la tecnología. En cambio, la productividad promedio de la mano de obra para los PNP en el período 1981-1986 fue de 31 kg de maíz jornal⁻¹, es decir, una diferencia de 22 kg jornal⁻¹. La diferencia a la vez significativa ($P=0.05$) es importante si se considera que los PP se ahorraron a partir del año agrícola 1985-1986, 50.8 jornales ha⁻¹ año⁻¹ (Cuadro 3) y cultivaron 8.1 ha año⁻¹ versus 6.5 ha que cultivaron los PNP.

El efecto de la interacción ciclo por productor (Figura 5) indica que hay dos grupos de significancia, el primero formado por los productores JS y PL que

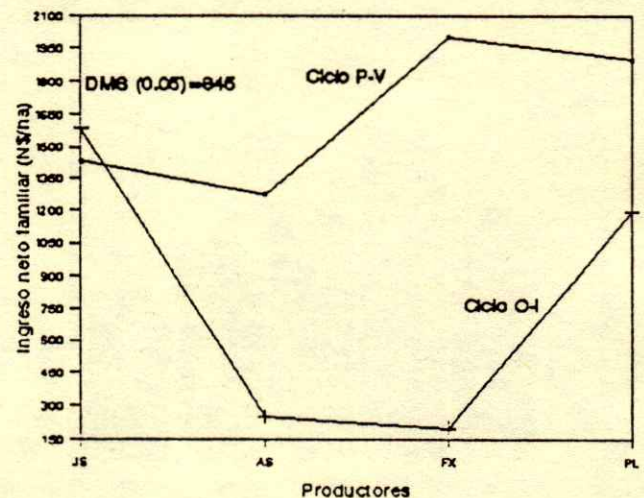


Figura 5. Comportamiento de la mano de obra por año debido a la interacción ciclo por productor.

Cuadro 6. Mano de obra (jornales año⁻¹) requerida en la actividad pecuaria[†] por los productores participantes, en la primera etapa.

Productor	Año agrícola				
	1981-1982	1982-1983	1983-1984	1984-1985 [‡]	1985-1986 [§]
JS	14	104	145	476	560
AS	104	33	65	59	335
FX	54	31	39	51	225
PL	45	37	50	229	329
Promedio	54	51	75	204	362
Desv. estándar	37	35	48	199	141

[†] Incluye todas las actividades inherentes, construcción de la unidad pecuaria, atención a la yunta, etc.

[‡] En ese año los productores JS y PL iniciaron la actividad pecuaria.

[§] En ese año los productores AS y FX iniciaron la actividad pecuaria.

poseen vertisoles y obtuvieron en promedio 39 kg de maíz por cada jornal invertido y el segundo grupo formado por los productores AS y FX, quienes siembran en molisoles, obtuvieron sólo 28 kg por cada jornal invertido. Lo anterior indica que la productividad del jornal, entre otros factores, se encuentra asociado al ciclo de cultivo y a la calidad de la tierra que posca el productor.

Uso y Productividad de la Mano de Obra Pecuaria

El Cuadro 6 presenta la cantidad de jornales que usaron los PP en la actividad pecuaria. Esta se refiere a la mano de obra requerida por el manejo semiestabulado del ganado, más la utilizada en otras actividades colaterales, ya que el inicio de la actividad requirió la construcción de infraestructura.

A partir de la información de este cuadro, la de superficie cultivada y la contenida en el Cuadro 1, se elaboró el Cuadro 7 que muestra la evolución del uso de mano de obra en la actividad pecuaria, e intenta mostrar la relación del uso de mano de obra en la

actividad agrícola con la superficie cultivada en cada año, si bien comparando dos situaciones: (1) antes del manejo semiestabulado del ganado de ordeña y (2) después de éste. Los resultados muestran una reducción de 22 % de la superficie cultivada, una vez incorporada la ganadería en las UFP. Esta reducción se debió a: (1) área requerida para construir instalaciones (establo, tejabán, etc.) y para la siembra de *L. leucocephala*; (2) los productores JS, AS y PL prestaron una porción de su tierra a familiares. No obstante, el productor AS redujo solamente en 0.5 ha la superficie cultivada con maíz, debido a la participación activa de la mayoría de las mujeres que conformaban su familia. El productor FX no repartió tierra (sus hijos eran pequeños, excepto uno), por lo que la superficie que cultivaba permaneció fija aún después de la inclusión del ganado de ordeña.

Se puede observar también que la MOA se redujo en promedio de 577 a 359 jornales año⁻¹, después de haber incluido el manejo del ganado de ordeña. Esta reducción se atribuye a: (1) disminución de la superficie agrícola y (2) mayor eficiencia en las labores agrícolas dado el uso de tecnología menos exigente en trabajo manual.

Por otra parte, la mano de obra empleada en la actividad pecuaria se incrementó considerablemente al manejar la ganadería de ordeña; en promedio se requirieron 339 jornales año⁻¹ al incorporar esta actividad, en tanto que antes sólo se usaban 60 (Cuadro 7), que se referían al manejo de la yunta empleada en las actividades agrícolas y a algunas otras actividades como la construcción de infraestructura pecuaria.

Si se compara el total de mano de obra bajo las dos situaciones que se analizan, puede verse que en ambos casos se empleó aproximadamente la misma cantidad, en términos generales hay un incremento de

Cuadro 7. Evolución del uso de mano de obra en la actividad pecuaria por productores participantes (PP) y su relación con el uso de mano de obra en la actividad agrícola y la superficie cultivada.

Productor	Superficie cultivada		Mano de obra empleada					
	SMGO [†]	CMGO	Sin manejo del ganado de ordeña			Con manejo del ganado de ordeña		
			MOA	MOP	A+P [‡]	MOA	MOP	A+P
	----- ha año ⁻¹ -----							
JS	5.5	4.5	834	88	922	471	518	989
AS	3.0	2.5	468	65	533	190	335	525
FX	3.5	3.5	431	44	475	423	225	648
PL	5.9	3.5	575	44	619	354	279	633
Promedio	4.5	3.5	577	60	637	359	339	699

[†] SMGO = sin manejo del ganado de ordeña (años de 1981 a 1983). CMGO = con manejo del ganado de ordeña (años 1984 a 1986). MOA = mano de obra agrícola. MOP = mano de obra pecuaria. A+P = MOA + MOP.

Cuadro 8. Producción de leche y productividad de la mano de obra invertida en la actividad pecuaria por productores participantes (PP) y por el productor testigo (PNP).

Productor	Vacas en producción [†]	Prom. días en prod./vaca [‡]	Leche producida por día [§]	Prod. total anual	Jornales empleados [¶]	Productividad mano de obra [#]	% relativo al salario diario ^{††}
			----- kg -----				
JS	7	124	24	2882	741	12	120
AS	6	127	21	2907	209	14	140
FX	3	93	6	552	222	2	20
PL	5	159	18	1216	228	5	50
GT (testigo)	3	184	15	2753	171	16	160

[†] Se refiere al número de vacas ordeñadas en el año agrícola 1986-1987.

[‡] Resulta de dividir el total de días en que producen las vacas entre el número de ellas; así, el valor es una estimación burda del período de lactancia para todas las vacas.

[§] Resulta de sumar los promedios de producción diaria de todas las vacas.

[¶] Es una estimación que considera las actividades inherentes a la producción de leche. En el caso de PP se considera: corte, picado y almacenado de rastrojo, alimentación y ordeña. Para el PNP: ordeña, baños garrapaticidas y atención de potreros.

[#] Resulta de dividir producción total anual entre jornales empleados.

^{††} Proporción que representa la retribución en leche por cada jornal invertido respecto al salario diario regional (\$ 2000), considerando un precio de \$ 200 por kg de leche.

la demanda de mano de obra del orden de 10 % (699/637) con el manejo semiestabulado del ganado de ordeña. Esto significa que se volvió más eficiente el uso de mano de obra, sin necesidad de expulsarla de la UFP, sino más bien se usó en otras actividades potencialmente más productivas como la ganadería y el establecimiento de huertos frutícolas. Lo anterior parecería deseable al desarrollo rural, por que se generan empleos permanentes para la mano de obra familiar y en ocasiones empleos asalariados.

La información para evaluar la productividad de la mano de obra en la actividad pecuaria está reportada en el Cuadro 8. Los valores de jornales empleados corresponden a una estimación de aquella cantidad de jornales, requerida únicamente en las actividades inherentes a la producción de leche.

Se puede observar que los PP (excepto FX) manejaron un hato mayor con 2.5 a 4.5 ha con maíz y 0.25 ha con *Leucaena* que el productor testigo quien ocupó sus 6 ha para alimentar sus tres vacas con sus respectivos becerros. Conviene aclarar, sin embargo, que el número de vacas de GT podría haberse incrementado en tres o cuatro, siempre y cuando las hubiera poseído. De acuerdo con esto, parecería que no hay gran ventaja entre la tecnología usada por los PP y la usada por GT. Sin embargo, debe aclararse que los PP obtuvieron, además de la producción de leche, 19.7 t de maíz UFP⁻¹ año⁻¹ que no obtuvo GT y utilizaron en promedio 2.25 ha menos que las usadas por GT. También los PP dieron trabajo a toda la familia durante todo el año, lo cual no sucedió con GT que manejó la ganadería bajo un sistema extensivo que requiere de uso mínimo de mano de obra.

El "promedio de días en producción por vaca" de los PP, es una estimación burda del período de lactancia, e indica que en todos los casos las vacas del productor GT producen más días que las de los PP. Lo anterior está muy relacionado con la alimentación del ganado que manejaron los PP. El primer año que los PP incluyeron la ganadería en sus fincas, el proyecto adquirió los ingredientes de la ración. Los PP, por su parte, se comprometieron a cubrir el monto de lo adquirido en cuanto obtuvieran ingresos por la venta de leche. A pesar de eso, en la medida que se fueron agotando los insumos de la ración, ésta se suministraba incompleta. Los productores se negaban a cubrir la deuda y también a comprar los insumos faltantes alegando falta de dinero, no obstante que cada quincena recibían en promedio el producto de la venta diaria de 15 kg de leche. Ellos esperaban que el proyecto estuviera adquiriendo los ingredientes. Esta situación ocasionó que en el año 1986-1987 para el cual se reportan los datos, hubiera productores como PL que sólo suministraba rastrojo picado, y el resto de sus compañeros no incluían las cantidades correspondientes de melaza, gallinaza y sales minerales, ni complementaban con pastoreo diferido, dado que la "época seca" no lo permitía. Todos estos contratiempos obviamente no ocurrían con el productor testigo.

A pesar de todos los problemas anteriores, el Cuadro 8 muestra que la producción diaria de leche por los PP, excepto para FX, resultó más alta que aquella obtenida por el productor GT. De hecho los productores JS, AS y PL se sentían orgullosos con la cantidad de leche que obtenían, pero nunca mostraron

disponibilidad de utilizar parte de los ingresos en mejorar la ración alimenticia del ganado. En la producción total, sin embargo, fue similar a la del productor JT debido a que las vacas de éste produjeron durante muchos más días, debido en gran parte a las mejores condiciones físicas y productivas que poseía el PT respecto de los PP.

Por otra parte, la productividad de la mano de obra de los PP resultó inferior en relación con el productor GT, si bien los PP que manejaron un hato mayor (JS y AS) obtuvieron valores cercanos al del productor GT, y su retribución monetaria por el jornal invertido superó al salario diario regional.

CONCLUSIONES

El análisis de los datos indica que el uso de mano de obra a nivel de año agrícola siguió una tendencia clara en términos de decrementos sucesivos a partir del segundo año, pasando de 155 jornales por ha en ese año, hasta 81.4 en el último. La productividad promedio anual de la mano de obra agrícola para los PP se incrementó debido al uso de equipos mejorados de tracción animal, de 35 kg de maíz jornal⁻¹ en 1981 a 53 kg en 1985 cuando se había alcanzado casi 100 % de adaptación de la tecnología. En cambio, la productividad promedio anual de la mano de obra agrícola para los PNP fue de 31 kg de maíz jornal⁻¹ durante el período de 1981 a 1986. La diferencia de 22 kg de maíz jornal⁻¹ a la vez que significativa es importante si se considera que los PP ahorraron 50.8 jornales ha⁻¹ año⁻¹ y fueron capaces de cultivar 8.01 ha año⁻¹ versus 6.05 ha año⁻¹ que cultivaron los PNP.

En el funcionamiento general de la UFP ambas actividades agrícola y pecuaria, se complementaron ya que: (1) reclamaron aproximadamente igual cantidad de mano de obra, si bien con ligera inclinación hacia la actividad agrícola; (2) en total se usó aproximadamente la misma cantidad de mano de obra que antes del manejo de la ganadería de ordeña, lo que significa que los requerimientos no se incrementaron de manera importante con la inclusión del ganado de ordeña sino que la mano de obra empleada en la actividad agrícola se usó más eficientemente, liberando este recurso hacia la actividad pecuaria, principalmente.

Los resultados indican también que (a) la actividad pecuaria manejada por los PP está lejos de alcanzar niveles óptimos de productividad; y (b) la evidencia práctica indica que no alcanzarán dichos

niveles, al menos que se convengan de la necesidad de reinvertir parte de la ganancia.

Por la evidencia obtenida del presente trabajo la hipótesis planteada no se rechaza ya que con la incorporación y adaptación de equipo mejorado de tracción animal se lograron ahorros importantes de mano de obra en la actividad agrícola, lo que condujo a un incremento de la superficie cultivada y a usar parte de la mano de obra liberada principalmente en la actividad pecuaria.

LITERATURA CITADA

- Comisión del Plan Nacional Hidráulico (CPNH). 1985. El programa de desarrollo rural integrado para el trópico húmedo. Primera etapa. Evaluación 1978-1984. Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos, México.
- Duckhan, N.A. y B.G. Masefield. 1970. Farming systems in the tropics. 3a ed. Clarendon Press, Oxford.
- FAO. 1992. Desarrollo agropecuario de la dependencia al protagonismo del agricultor. 2a ed. Oficina Regional para América Latina y el Caribe. Santiago de Chile.
- Ghodake, D.R., G.J. Ryan y R. Sarin. 1981. Human labor use with existing and perspective technologies in the semi-arid tropics of South India. *J. of Development Studies* 18: 25-46.
- Harwood, R.R. 1979. Small farm development, understanding and improving farming systems in the humid tropics. Boulder, Colorado, West view Press.
- Krantz, B.A., J. Kampen y M.S. Virmani. 1978. Soil and water conservation and utilization for increased food production in the semi-arid tropics. *ICRISAT Journal*, Article 30, Hiderabad 500016 (A.P.), India.
- Lee, S.Ch. 1980. An economic analysis of the integrated crop livestock-fish farming in Taiwan. pp. 107-166. *In: Food and Fertilizer Technology Center. Integrated crop. Livestock-Fish Farming*. FFTC. Taiwan.
- Mubarak, A. y D. Byerlee. 1991. Economic efficiency of small farmers in a changing world: A survey of recent evidence. *J. Int. Development* 1: 1-27.
- Norman, W.D., D.M. Newman e I. Quedraogo. 1981. Farm and village production systems in the semi-arid tropics of West Africa. An interpretative review of research. ICRISAT, India.
- Simmonds, N.W. 1983. Farming systems research: The state of the art. Draft report. World Bank, Washington, D.C.
- Sims, G.B. 1983. El yunticultor (Desarrollo y uso). Unidad de ingeniería y mecanización agrícola. Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos-INIA-CIAGOC-CAECOT.
- Singh, C.B., P.J. Dhaka y P.S. Sharma. 1981. Labor absorption and factor influencing levels of employment in crop, dairy and poultry enterprises. *Indian J. of Agric. Economics* 36(4): 14-20.
- Turrent F., A., R. Camacho C. y S. Uribe G. 1985. Desarrollo de un prototipo de explotación agropecuaria-forestal para el trópico subhúmedo de México. Proyecto INIFAP/Colegio de Postgraduados/CONACYT, México.
- Zandstra, G.H. 1985. The design and testing of improved livestock technology for mixed farms. *In: Animal traction in a farming system perspective*. FSSP. Network. Report No. 1. Gainesville, Florida.

CARACTERISTICAS AGRONOMICAS DEL FRIJOL ASOCIADAS A LA CAPACIDAD DE FIJACION DE N₂ EN EL CENTRO DE MEXICO

Agronomic Traits of Common Beans Associated to the N₂ Fixation Capacity in Central Mexico

J.Z. Castellanos¹, J.J. Peña-Cabriales², V. Badillo¹, A. Aguilar-Santelises³,
J.A. Acosta-Gallegos⁴ y A. Rodríguez-Guillén¹

RESUMEN

El presente trabajo se realizó en el Campo Experimental Bajío y consistió de un experimento de campo, establecido en el ciclo de primavera-verano, de 1991, en el cual se evaluaron 68 genotipos de frijol de ciclos de crecimiento intermedio y tardío, bajo dos tratamientos: 1) Sin fertilizante nitrogenado (N-0) y 2) con fertilizante nitrogenado a una dosis de 80 kg de N por hectárea (N-1). Ambos tratamientos fueron inoculados con una multicepa. Se tomaron datos de precocidad a floración y madurez, producción de materia seca y concentración de N total a los 30 días, en etapa R-3 y en etapa R-8, rendimiento de grano, rendimiento de paja y contenido de N total en ambas porciones. La eficiencia de fijación de N₂ de cada genotipo se calculó con base en la extracción relativa del tratamiento (N-0) con relación al tratamiento (N-1). En este trabajo se presentan las características agronómicas promedio para cada tratamiento de nitrógeno y el rango correspondiente. Se obtuvo la matriz de correlaciones de las doce variables más sobresalientes. La duración del periodo vegetativo mostró una correlación significativa con la eficiencia de fijación de N₂. La materia seca y la cantidad de N acumulado en etapa R-3 resultaron también asociadas en forma significativa con la eficiencia de fijación de N₂. En suelos con bajo N disponible las variables rendimiento, materia seca final y extracción total de N, estuvieron asociadas en forma altamente significativa con la eficiencia de fijación de N₂. El

método para seleccionar genotipos de frijol con base en rendimiento en un suelo bajo en N disponible sugiere ser una buena estrategia para incrementar la capacidad de fijación de N₂ en los programas de mejoramiento genético de esta leguminosa.

Palabras clave: Peso de semilla, precocidad a floración, extracción de N, N en suelo.

SUMMARY

This work was established in the Experimental Station of Celaya, Gto., in 1991, and consisted of a field experiment in which 68 bean genotypes were evaluated under two treatments: 1) Unfertilized with N (N-0), and 2) Fertilized with 80 kg N ha⁻¹ (N-1). Both treatments were inoculated with a multistrain. Data for earliness to flowering and maturity, plant biomass at 30 days and during the R-3 and R-8 stages, grain yield, straw yield, and total N in both portions were registered. N₂ fixation efficiency was calculated for every genotype based upon the relative extraction of nitrogen of the (N-1) treatment in relation to the (N-1) treatment. A correlation's matrix was obtained for twelve variables. The duration of the vegetative period was significantly correlated with N₂ fixation efficiency (P<0.01). Dry matter and N accumulated at R-3 resulted significantly associated with N₂ fixation efficiency (P<0.01). In soils with low available N, grain yield, dry matter and total extracted N were highly correlated with N₂ fixation efficiency (P<0.01). The method of selecting dry bean genotypes based upon yield in a soil low in available nitrogen showed to be a good strategy to improve the capacity to fix nitrogen.

Index words: Seed weight, earliness to flowering, N extraction, soil nitrogen.

¹ Campo Experimental Bajío-INIFAP, Apartado Postal 112, 38000 Celaya, Gto., México.

² Centro de Investigaciones y Estudios Avanzados del IPN, Apartado Postal 629, Irapuato, Gto., México.

³ Universidad Autónoma Chapingo, Apartado Postal 45, 56230 Chapingo, Edo. de México, México.

⁴ CEVAMEX, INIFAP, Apartado Postal 10, 56230 Chapingo, Edo. de México, México.

Aceptado: Septiembre de 1998.

INTRODUCCION

La mayoría de las especies de leguminosas son capaces de fijar N_2 , sin embargo, existen grandes diferencias entre especies en relación con esta habilidad (Schubert y Evans, 1976; Piha y Munns, 1987). El frijol se considera una especie de pobre capacidad de fijación de N_2 (Vincent, 1974; Piha y Munns, 1987), posiblemente como resultado de su corto ciclo de crecimiento en comparación con las otras leguminosas. En este sentido, Graham y Rosas (1977) reportaron que existe una gran variabilidad genética en relación con la capacidad de fijación de N_2 y que los genotipos tardíos fijan más nitrógeno que los precoces (Graham y Halliday, 1977). Después de estos trabajos se han publicado una gran cantidad de estudios en que se muestra la variabilidad genética que existe en relación con este carácter (Westerman y Kolar, 1978; Franco *et al.*, 1979; Rennie y Kemp, 1981a,b; Ruschel *et al.*, 1982; Rosas y Bliss, 1986; Piha y Munns, 1987; Peña-Cabriales, 1988; Pereira *et al.*, 1989; Redden *et al.*, 1990) y se han incorporado los genes de alta capacidad de fijación en genotipos pobres fijadores (McFerson, 1983; Bliss, 1985). Por otro lado, en los programas de mejoramiento genético en frijol se involucra una gran cantidad de variables agronómicas, de sanidad y de calidad comercial que sugieren la conveniencia de utilizar criterios rápidos y económicos para seleccionar genotipos eficientes en la fijación de N_2 y que además contengan el resto de las variables de interés. Hasta la fecha, la mayoría de los métodos utilizados para seleccionar genotipos eficientes en la fijación de N_2 han involucrado procedimientos tediosos y consumidores de tiempo (Pereira *et al.*, 1984; Rosas y Bliss, 1986; Redden *et al.*, 1990) o altamente costosos que requieren equipo analítico sofisticado (Rennie y Kemp, 1981a), lo cual es una seria limitación para evaluar grandes cantidades de materiales. Por lo que es importante dedicar más esfuerzos a la búsqueda de métodos para reconocer genotipos eficientes, los cuales sean rápidos y apegados a las condiciones de campo y que además permitan evaluar cantidades importantes de materiales en un tiempo razonable. Los objetivos de este trabajo fueron: conocer la variabilidad que existe en las variables agronómicas relacionadas con el contenido de nitrógeno y la acumulación y partición del mismo en grano y paja, y estudiar la relación que existe entre una serie de variables agronómicas bajo condiciones de

campo en el frijol y la eficiencia en la fijación de N_2 con el fin de proponer métodos para seleccionar genotipos con esta cualidad.

MATERIALES Y METODOS

En este estudio se realizó un experimento de campo en el cual se evaluaron 68 genotipos de frijol de ciclos de cultivo intermedio y tardío, bajo los siguientes tratamientos: a) Sin fertilizante nitrogenado e inoculado con una multicepa que incluyó a las cepas Gto. 12.1 y Gto. 2.1 del laboratorio de Ecología Microbiana del CINVESTAV, y b) fertilizado con una dosis de 80 kg de $N\ ha^{-1}$, e inoculado con la misma multicepa. El diseño utilizado fue parcelas divididas, con genotipo en parcela mayor y nitrógeno en parcela menor. Todos los tratamientos recibieron una dosis de 80 kg de $P_2O_5\ ha^{-1}$. El tamaño de la unidad experimental fue de dos surcos de 4 m de largo separados a 60 cm. Dada la gran cantidad de tratamientos y la homogeneidad del terreno, solamente se utilizaron dos repeticiones. El experimento se estableció en el Campo Experimental Bajío, Celaya, Gto., ubicado en una latitud de 20° norte y una longitud de 101° oeste, altitud de 1650 m, con temperatura media anual de 20 °C, (máxima promedio de 28.5 °C y mínima promedio de 11.5 °C durante la estación de crecimiento). La fecha de siembra fue el 6 de julio de 1988 en un suelo con bajo N disponible (28 kg de N mineral en el estrato de 0 a 60 cm, previo al establecimiento del experimento), cuyo cultivo anterior no recibió fertilizante nitrogenado. Durante el ciclo del cultivo se presentó abundante precipitación y sólo al final del ciclo se aplicó un riego el 20 de septiembre, de tal manera que el cultivo no sufrió ningún déficit de humedad durante todo el desarrollo. Los datos tomados durante el desarrollo del experimento fueron: 1) Número de días al 50 % de floración y a la madurez fisiológica, 2) producción de materia seca a los 30 días después de la siembra (dds), 3) producción de materia seca en la etapa reproductiva R-3, de acuerdo con la escala fenológica de Le Barón (1974) y que corresponde al inicio de llenado de vaina, aproximadamente siete días después de 50 % de floración, 4) materia seca en madurez fisiológica, 5) rendimiento de grano, 6) contenido de humedad del grano, 7) rendimiento de paja en base seca, 8) contenido de N total de la planta en la etapa R-3, 9) contenido de N total en grano y 10) contenido de N total en paja. Con estos datos

se obtuvo el rendimiento del grano ajustado a 14 % de humedad, el peso seco del grano, extracción de N en la etapa R-3 y en madurez fisiológica, índice de cosecha (IC) e índice de cosecha de nitrógeno (ICN). Además, se calculó el número de días en etapa vegetativa y en etapa reproductiva, así como la proporción que ocupa la etapa vegetativa dentro de todo el ciclo de cultivo del genotipo. Las características que se utilizaron para estimar la eficiencia de fijación de N₂ fueron el rendimiento relativo y la extracción relativa de N de los tratamientos con y sin nitrógeno para cada genotipo expresado a través de la relación: $(N-0/N-1)*100$, en donde un valor cercano a o mayor que 100 se interpreta como alta eficiencia del genotipo para fijar N₂. Esta asunción se basa en que el tratamiento N-1 sería el que expresa el máximo potencial de rendimiento sin restricciones de nitrógeno. Si el tratamiento sin nitrógeno en un genotipo determinado se acerca al nivel de rendimiento en el tratamiento con N-1, esto se interpreta como una alta capacidad para fijar N en este genotipo. Por el contrario, un menor rendimiento se interpreta como una baja capacidad para fijar N₂.

Se obtuvo la matriz simple de correlaciones fenotípicas para las 12 variables más relevantes del estudio. Los análisis estadísticos de todos los datos tomados fueron realizados con la ayuda del paquete estadístico SAS para microcomputadoras en el Centro de Biometría del Campo Experimental Bajío de Celaya, Gto., México.

RESULTADOS Y DISCUSION

Las características agronómicas promedio de los genotipos estudiados se presentan en el Cuadro 1, para cada uno de los tratamientos de nitrógeno. En el tratamiento sin nitrógeno en la etapa R-3 se acumuló un promedio de 38 % de la biomasa. Esto representó 48 % del N total al momento de la cosecha. En promedio, el N total acumulado al final de la cosecha ascendió a 113 y 130 kg de N ha⁻¹ para los tratamientos de N-0 y N-1, respectivamente. Sin embargo, hubo materiales que acumularon 187 kg de N ha⁻¹ en ausencia de aplicación de N al suelo. El índice de cosecha promedio no fue alterado por la aplicación de N al suelo. Dicho dato varió de 0.31 a 0.60. Estos valores se consideran altos, sin embargo, hay que tener en cuenta que se obtuvieron en condiciones no restrictivas de humedad con el máximo

potencial de rendimiento, el cual rebasó, en algunos casos, 5 t de grano ha⁻¹. Los porcentajes promedio de N en grano fueron 3.34 y 3.47 y en paja estos valores fueron de 1.31 y 1.27 % para las condiciones de N-0 y N-1, respectivamente. El ICN promedio fue de 0.69 y 0.70 para los dos tratamientos.

En el Cuadro 2 se presenta la matriz de correlaciones simples entre las variables antes mencionadas, las cuales se describen a continuación:

Peso de la semilla. El peso de la semilla no mostró correlación con el índice de fijación de N₂, pero sí con el rendimiento. White e Izquierdo (1991), por el contrario, encontraron una correlación negativa altamente significativa entre peso de la semilla y rendimiento. Esta contradicción podría ser debida a un aspecto de adaptación, es decir, que los genotipos más adaptados al altiplano mexicano presentan por lo general semilla de mediana a grande, mientras que en zonas cálidas tropicales el comportamiento es inverso.

Características de precocidad. La duración del periodo vegetativo (DPV) y su proporción dentro del periodo total de crecimiento (PPV) de los genotipos mostraron correlación positiva y estadísticamente significativa ($P < 0.05$) con la biomasa acumulada en la etapa R-3 y en madurez fisiológica, así como con la acumulación de N total en ambas etapas. Estos resultados son esperados y significan que un genotipo tardío acumula más biomasa y extrae más N, lo cual ha sido reportado en la literatura para casi todas las especies anuales cultivadas. Sin embargo, la producción de biomasa a los 30 días después de la siembra (dds), es decir, mucho antes de la floración y de la madurez fisiológica, mostró asociación negativa altamente significativa ($P < 0.01$) con la DPV y la PPV. Esto significa que los genotipos tardíos para florear mostraron un crecimiento inicial lento en comparación con los genotipos de floración temprana. La proporción de la etapa vegetativa también se asoció en forma significativa con la eficiencia de fijación del N₂. La duración del ciclo del cultivo no afectó significativamente el rendimiento como normalmente ocurre en los ensayos de frijol en regiones tropicales (White e Izquierdo, 1991) y la causa es que en este estudio no se incluyeron genotipos precoces, es decir, solamente se evaluaron materiales intermedios y tardíos, por lo que no hubo suficiente variabilidad para esta característica. Al relacionar las características de precocidad con el peso de la semilla se observa que existe una relación inversa entre la duración o proporción de la etapa

Cuadro 1. Características agronómicas promedio de los 68 genotipos de frijol bajo dos niveles de nitrógeno.

Características	Con aplicación de nitrógeno		Sin aplicación de nitrógeno	
	Promedio	Rango	Promedio	Rango
Duración etapa vegetativa, días	43	35-49	44	35-51
Duración ciclo de crecimiento, días	92	86-100	93	86-102
Proporción periodo vegetativo	0.47	0.40-0.52	0.47	0.40-0.53
Biomasa aérea (30 dds), t ha ⁻¹	0.52	0.25-0.83	0.43	0.21-0.66
Biomasa aérea (etapa R-3), t ha ⁻¹	2.35	1.18-4.36	1.98	0.84-3.89
Biomasa aérea final, t ha ⁻¹	5.71	3.42-8.31	5.08	2.71-8.26
N acumulado etapa R-3, kg ha ⁻¹	61	26-127	49	19-90
N acumulado final, kg ha ⁻¹	130	77-199	113	53-187
Peso seco de grano, t ha ⁻¹	2.70	1.93-4.42	2.34	0.97-4.14
Peso seco de paja, t ha ⁻¹	3.05	1.73-4.52	2.72	1.32-4.71
Índice de cosecha	0.46	0.31-0.57	0.47	0.32-0.60
Nitrógeno en grano, %	3.47	2.54-4.81	3.34	2.77-4.17
Nitrógeno en paja, %	1.27	0.80-1.89	1.31	0.83-1.96
N acumulado en grano, kg ha ⁻¹	91	51-139	78	33-137
N acumulado en paja, kg ha ⁻¹	39	26-60	35	20-50
Índice de cosecha de nitrógeno	0.70	0.50-0.82	0.69	0.47-0.84

vegetativa y el tamaño de la semilla. Este es el caso de los genotipos adaptados al altiplano mexicano, cuya mayoría presenta semilla de mediana a grande y cuya floración ocurre tempranamente. Los genotipos del altiplano mexicano son generalmente de hábito indeterminado-postrado y presentan un extendido período de floración con el fin de adaptarse a los períodos cortos de sequía que ocurren durante la etapa reproductiva del cultivo. De las cuatro características de fenología evaluadas, solamente la duración y proporción del periodo vegetativo mostraron asociación significativa con el índice de fijación de nitrógeno.

Acumulación de biomasa y rendimiento. La velocidad inicial de acumulación de biomasa mostró asociación altamente significativa con el peso de la semilla. Las semillas con mayores reservas favorecen un crecimiento inicial vigoroso, lo cual pudiera ser conveniente para lograr el establecimiento de la simbiosis e iniciar tempranamente el proceso de fijación de N₂. Un rápido establecimiento de la simbiosis y un simultáneo retraso de la floración coadyuvaría a incrementar la eficiencia de la fijación de N₂. Sin embargo, la estrategia de utilizar genotipos de floración tardía tal vez sólo sea compatible con ambientes libres de agobio hídrico en la etapa reproductiva, es decir, áreas de riego, de punta de riego o de buen temporal.

La relación negativa entre la duración de la etapa vegetativa y la biomasa acumulada a los 30 días se

invierte en las etapas de R-3 y madurez fisiológica, indicando que los materiales de crecimiento inicial lento acumularon al final del ciclo una mayor cantidad de biomasa. Se observó una relación significativa ($P < 0.05$) entre la eficiencia de fijación de N₂ y la acumulación de biomasa para las etapas de R-3 y madurez fisiológica, siendo el parámetro de biomasa total el que mejor explicó el comportamiento de la eficiencia de fijación de N₂, al igual que los parámetros: extracción total de N y rendimiento de grano. De estas tres variables que mostraron los mayores coeficientes de correlación con el índice de eficiencia de fijación de N₂, el rendimiento de grano en suelos con bajo N disponible, parece ser la variable más razonable para predecir el comportamiento simbiótico del genotipo. La ventaja de usar el dato de rendimiento es que es una variable de rutina en todos los ensayos de frijol.

Efecto del nivel de N en el suelo. Es importante puntualizar que todas las variables arriba mencionadas fueron evaluadas en un suelo con bajo N disponible y entre más pobre sea el suelo en este nutrimento es de esperar que los coeficientes de correlación se incrementen. Esta afirmación se fundamenta en los datos del Cuadro 3, en donde se puede apreciar que las variables de acumulación de biomasa, acumulación de nitrógeno y rendimiento de grano, estuvieron correlacionados en forma significativa y altamente significativa con el índice de fijación de N₂ cuando el suelo no se fertilizó con N. En el tratamiento con

Cuadro 2. Matriz de correlaciones entre índices de eficiencia de fijación de N₂ y varios parámetros de planta de 68 genotipos de frijol sembrados en un suelo con bajo N disponible y sin aplicación de nitrógeno.

	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)	(14)
1) Peso de 100 sem.	-0.24 *	0.27 *	-0.31 **	-0.01	0.54 **	0.14	0.34 **	-0.16	0.17	0.26 *	0.01	0.33 **	-0.03
2) Durac. Per. Veget.		-0.29 *	0.86 **	0.63 **	-0.41 **	0.58 **	0.33 **	-0.15	0.54 **	0.37 **	-0.06	0.17	-0.31 *
3) Durac. Per. Repr.			-0.75 **	0.52 **	0.32 **	-0.11	0.01	-0.21	0.06	-0.03	-0.33 **	-0.04	-0.14
4) Prop. Per. Veget.				0.14	-0.47 **	0.44 **	0.22	0.01	0.31 *	0.26 *	0.11	0.13	0.31 *
5) Días a mad. Fis.					-0.07	0.45 **	0.30 *	-0.31 **	0.53 **	0.29 *	-0.31 *	0.12	-0.12
6) Mat. Seca 30 días						-0.03	0.06	0.01	-0.04	0.03	-0.03	0.15	-0.07
7) Mat. Seca R-3							0.53 **	-0.12	0.90 **	0.51 **	-0.01	0.41 **	0.29 **
8) Mat. Seca final								0.03	0.58 **	0.95 **	0.25 *	0.89 **	0.51 **
9) Ind. Cosechan									-0.18	0.11	0.55 **	0.34 **	-0.01
10) Ext. N R-3										0.56 **	0.07	0.43 **	0.24 *
11) Est. N Final											0.20	0.87 **	0.54 **
12) ICN												0.50 **	0.10
13) Rendimiento													0.45 **
14) Ind. Efic. Fij. N ₂													1.00

* Correlación significativa (P < 0.05).

** Correlación altamente significativa (P < 0.01).

aplicación de N, no se presentó ninguna relación con el mencionado índice. Esto significa que los ensayos establecidos en suelos con alto N disponible o aplicando fertilizante nitrogenado, tienen escaso valor para reconocer genotipos eficientes en la fijación de N₂ utilizando las características de planta arriba mencionadas.

Es indudable que existe variabilidad genética con relación a la eficiencia de fijación de N₂; sin embargo, la identificación de genotipos eficientes ha sido un problema debido a la falta de métodos rápidos y económicos para seleccionarlo. Los resultados del presente estudio sugieren que es fundamental emplear suelos con bajo N disponible o bien abatir el N del suelo mediante la siembra de uno o varios cultivos esquilmanes, con el fin de que los genotipos expresen sus cualidades de fijación de N₂ mediante determinaciones sencillas tales como rendimiento de grano, acumulación total de biomasa o extracción total de N. Al respecto, Castellanos *et al.* (1995) analizaron una gran cantidad de ensayos para reconocer cepas

eficientes de *Rhizobium etli* y *R. tropici*, e indicaron que muchos ensayos no han sido exitosos debido a una inadecuada selección del sitio experimental en términos del alto N disponible en el suelo. Entre los parámetros fenológicos de la planta, la precocidad a madurez ha sido hasta la fecha la más relacionada en forma inversa con la capacidad de fijación de N₂ en el frijol (Graham y Rosas, 1977; Ferrera-Cerrato *et al.*, 1984; Peña-Cabriales, 1988; Wolyn *et al.*, 1989), sin embargo, los datos del presente trabajo, el cual fue realizado con genotipos de similar período de crecimiento, sugieren que para materiales con el mismo ciclo de crecimiento la floración tardía es tan importante como la madurez. Estos resultados son congruentes con el problema de competencia por fotosintatos entre vainas y raíces noduladas durante la etapa de llenado de vaina, ya que en genotipos de floración tardía se retrasa el inicio de la competencia por fotoasimilados entre vainas y nódulos, lo que podría reflejarse en un período mayor de fijación de N₂ y cuya evidencia es abundante en estudios con ¹⁴C (Waters, 1980; Puppato *et al.*, 1987)

Cuadro 3. Relación entre varios parámetros de planta y la eficiencia de fijación de N₂ bajo condiciones de N en el suelo.

Características de planta	Aplicación de N al suelo	Coefficiente de correlación	Significancia estadística
Materia seca en etapa R-3	N-1	0.18	NS
Materia seca final	N-0	0.29	*
Acumulación de N total	N-1	0.08	NS
Rendimiento de grano	N-0	0.51	**
	N-1	0.02	NS
	N-0	0.54	**
	N-1	0.14	NS
	N-0	0.45	**

* P<0.05.

** P<0.01.

y de manipulación de la relación fuente: Demanda (Lawn y Brun, 1974; Hungría y Neves, 1986b). Baird *et al.* (1983) consiguieron mejorar la fijación de N₂ de plantas de frijol noduladas con una cepa ineficiente con sólo eliminar los botones florales. Por otro lado, se ha reportado que la tasa de máxima fijación de N₂ en frijol ocurre entre la floración y el inicio de llenado de vaina (Franco *et al.*, 1979; Hungría y Neves 1986a, b), por lo que la duración del periodo vegetativo parece ser un componente de importancia para incrementar la capacidad de fijación de N₂ en materiales de similar ciclo de crecimiento.

Las ventajas adicionales de tener genotipos de floración tardía (prolongado periodo vegetativo) están relacionadas con un periodo largo de fotosíntesis al retrasarse la demanda de fotoasimilados por las vainas y propiciar una mayor duración de la nodulación y fijación de N₂. La mayoría de los genotipos reportados como eficientes fijadores de N₂ tales como: Puebla 152, Wisc 2158 (Rosas y Bliss, 1986), Riz-30 (Kipe-Nolt y Guillen, 1985), Bayocel (Castellanos *et al.*, 1995), y Criollo CP (Ferrera-Cerrato *et al.*, 1984), regularmente presentan floración tardía. Al respecto, Tanaka y Fujita (1979) señalan una correlación significativa entre contenido de N en la hoja y la tasa de fotosíntesis (TF) en la etapa posterior a la máxima TF, sugiriendo que la rápida reducción de la capacidad de fotosíntesis está relacionada con la removilización de N de la clorofila de las hojas a las vainas en desarrollo. Estos resultados son similares a los reportados por Lugg y Sinclair (1981). White e Izquierdo (1991) sugieren que el problema más crítico en la relación fotosíntesis:rendimiento, es la removilización de N durante la etapa de llenado de vaina y cuyo fundamento se basa en la hipótesis de

Sinclair y De Wit (1975), de auto destrucción de la planta durante el llenado de vaina como resultado del desbalance entre la demanda y el abastecimiento de N. El problema de la relación fuente:demanda y la tasa de fijación de N₂, no sólo está relacionado con el inicio del período reproductivo sino también con la velocidad de llenado de vaina, es decir, con la velocidad de removilización de N en las hojas, lo cual afecta la cantidad de N fijado durante la etapa reproductiva, ya que limita el abastecimiento de fotoasimilados a los nódulos. Wolyn *et al.* (1989) reportaron que mientras la línea Wisc 24-21 fijó solamente 31 % de N total en la etapa reproductiva, la línea 24-17 acumuló durante dicho período 88 % del N total fijado. En este sentido el hábito de crecimiento puede jugar un papel importante, pues en los materiales de hábito de crecimiento III el periodo de llenado de grano es más prolongado en comparación con los de hábito II, aunque estudios del INIFAP en Durango indican que existen genotipos de gran plasticidad que aceleran su madurez ante un evento de sequía terminal (comunicación personal, J. Acosta).

En general, los materiales de floración tardía implican un reducido período de llenado de grano, lo cual hace más vulnerable a estos genotipos ante un evento de sequía en esta etapa. De tal manera que la estrategia de floración tardía sería una mejor alternativa en ambientes o sistemas de cultivo donde no ocurra sequía severa durante la etapa reproductiva y el potencial de rendimiento sea alto. Además de los aspectos arriba mencionados, es importante considerar otros aspectos morfológicos y de sanidad, estrechamente asociados con la fijación de N₂, tales como un desarrollo balanceado entre raíz y tallo (Rosas y Bliss, 1986) y la tolerancia a enfermedades radicales.

RECONOCIMIENTOS

Este trabajo experimental fue parcialmente financiado por el Bean Cowpea-CRSP, Title XII-DAN-1310-AID-G-SS-6008-00 y por el Proy-Alim 2-95 del SHIGO.

LITERATURA CITADA

- Baird, L.M., G. Sarath y B.D. Wegster. 1983. Effects of prevention of flowering on the growth of bean plants inoculated with *Rizobium phaseoli*. Botanical Gazette: 144: 225-230.

- Bliss, F.A. 1985. Breeding. For enhanced dinitrogen fixation potential of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.). pp. 303-310. In: P.W. Ludden y J.E. Burris (eds.). Nitrogen fixation and CO₂ metabolism. Proc. 14th Streenbuck symposium, 17-23 June 1984, University of Wisconsin, Elsevier Science Publishing Co.
- Castellanos, J.Z., J.J. Peña-Cabriales e I. Rojas. 1995. Análisis retrospectivo del uso de inoculantes con cepas elite en frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) en México. Turrialba 45(1-2): 89-99.
- Ferrera-Cerrato, R., E. López-Alcacer, J. Etchevers-B. y R. Nuñez. 1984. Utilización de 15N en la evaluación de fijación simbiótica de N₂ en el cultivo de frijol (*Phaseolus vulgaris*). XII Reunión Latinoamericana sobre Rhizobium. 21-25 Oct. Campinas. Brasil. 5 p.
- Franco, A.A., J.C. Pereira y C.A. Neyra. 1979. Seasonal patterns of nitrate reductase and nitrogenase activity in *Phaseolus vulgaris* L. Plant Physiol. 63: 421-424.
- Graham, P.H. y J.C. Rosas. 1977. Growth and development of indeterminate bush and climbing cultivars of *Phaseolus vulgaris* L. inoculated with Rhizobium. J.Agric.Sci. Camb. 88: 503-508.
- Graham, P.H. y J. Halliday. 1977. Inoculation and nitrogen fixation in the genus *Phaseolus*. pp. 313-314. In: J.M. Vincent, A.S. Whitney y J. Bose (eds.). Tropical agriculture.
- Hungria, M. y M.C.P. Neves. 1986a. Ontogenia de fixacao biologica do nitrogenio en *Phaseolus vulgaris*. Pesq. Agrop. Bras. 21: 715-730.
- Hungria, M. y M.C.P. Neves 1986b. Efeito da manipulacao depotodintato no fixacao biologica de nitrogenio em feijoeiro. Pesq. Agrop. Bras. 21:9-24.
- Kipe-Nolt, J.A. y K.E. Guiller. 1985. An evaluation of tropical *Phaseolus vulgaris* genotypes from a breeding program for improved nitrogen fixation. pp. 37. In: H.J. Evans, P.J. Bottomley y W.A. Newton (eds.). Nitrogen fixation Research Progress. Martinus Nijhoff Publishers.
- Lugg, D.G. y T.R. Sinclair. 1981. Seasonal changes in photosynthesis of field grown soybean leaflets, 2: Relations to nitrogen content. Photosynthesis (Prague) 15(1): 138-144.
- Le Baron, M.J. 1974. Developmental stages of the comunon bean plant. University of Idaho grc. Exp. Stn. Current Information Series No. 228.
- Lawn, R.J. y W.A. Brun. 1974. Symbiotic nitrogen fixation in soybeans. I. Effects of photosyntetic source sink manipulations. Crop Sci. 14: 11-16.
- McFerson, J.R. 1983. Genetic and breeding studies of dinitrogen fixations in common bean, *Phaseolus vulgaris* L. Ph D. Thesis. University of Wisconsin, Madison.
- Peña-Cabriales, J.J. 1988. Nitrogen fixation of 20 cv of *Phaseolus vulgaris* in Mexico. pp 48-54. In: G. Hardarson (ed.). Status report of the coordinated research program to improve yield and nitrogen fixation of gram legumes in Latin America with aim of increasing food production and saving N fertilizer. CRA No.Di. 40.03. Join/IAEA. Siebersdorf, Viena.
- Pereira, P.A.A., R.S. Araujo, R.E.M. Da Piaucha y S. Steinmets. 1984. Capacidad de genotipos de feijoeiro de fixacion N₂ atmosférico. Pesq. Aropec. Bras. 19: 811-815.
- Pereira, P.A.A., R.H. Burris y F.A. Bliss. 1989. 15N determined the nitrogen fixation potential of genetically diverse bean lines (*Phaseolus vulgaris* L.). Plant Soil 120: 171-179.
- Piha, M.Y. y D.N. Munns. 1987. Nitrogen fixation potential of grain legumes under controlled conditions. Plant Soil 98: 169-182.
- Puppato, L., R. Sant Anna, M. de M. Estevao, A.C. Borges y S.T.A. Cassini. 1987. Biological nitrogen fixations in plants of *Phaseolus vulgaris* as affected by photosynthate supply. Cere 34: 99-109.
- Rennie, R.J. y G.A. Kemp. 1981a. Dinitrogen fixation in pea beans (*Phaseolus vulgaris* L.) as affected by growth stage and temperature regime. Can.J.Bot. 59: 1181-1188.
- Rennie, R.J. y G.A. Kemp. 1981b. Selection for dinitrogen fixing ability in *Phaseolus vulgaris* L. at low temperature regimes. Euphytica 30: 87-95.
- Rosas, J.C. y F.A. Bliss. 1986. Host plant traits associated with estimates of nodulations and nitrogen fixation in common bean. Hort. Science 21: 287-289.
- Redden, R.J., A. Diatloffy y T. Usher. 1990. Field screening accessions of *Phaseolus vulgaris* for capacity to nodulate over a range environments. Aust. J. Exp. Agric. 30: 265-270.
- Ruschel, A.P., P.B. Vese, E. Matsuli, R.L. Victoria y S.M. Saito. 1982. Field evaluations of N₂ fixation and N utilization by *Phaseolus* bean varieties. Determined by 15N isotopic dilution. Plant Soil 65: 397-407.
- Schubert, K.R. y H.J. Evans. 1976. Hydrogen evaluation: A major factor effecting nitrogen fixation in nodulated symbionts. Proc. Natl. Acad. Sci. USA. 73: 1207-1211.
- Sinclair, T.R. y C.T. De Wit. 1975. Photosynthate and nitrogen requirements for seed production by various crops. Science 189: 565-567.
- Tanaka, A. y K. Fujita. 1979. Growth, photosynthesis and yield components in relation to grain yield of field bean J. Fac. Agric. Hokkaido Univ. 59(2): 145-238.
- Vincent, J.M. 1974. Root nodule symbiosis with Rhizobium. pp. 266-341. In: A. Quispel (ed.). The biology of nitrogen fixation. North Holland Publ. Co., Amsterdam.
- Waters, L. Jr. 1980. Translocation of 14C photosynthate carbohydrate content, and nitrogen fixation in *Phaseolus vulgaris* L. during reproductive development. J. Am. Soc. of Hort. Sci. 105: 424-427.
- Westerman, D.T. y J.J. Kolar. 1978. Symbiotic N₂ (C₂H₂) fixation by beans. Crop Sci. 18: 986-990.
- White, J.W. v J. Izquierdo. 1991. Physiology of yield potential and stress tolerance. pp. 287-382. In: A.V. Schoonhoven v Voysest (eds.). Common beans, research for crop improvement. CAB-International.
- Wolyn, D.J., D.A. St Claire, J. Dubois, J.C. Rosas, R.H. Burris y F.A. Bliss. 1989. Distribution of nitrogen in common bean *Phaseolus vulgaris* L. genotypes selected for differences in nitrogen fixation ability. Plant Soil 138: 303-311.

FRIJOL TERCIOPELO, CULTIVO DE COBERTURA EN LA AGRICULTURA CHOL DEL VALLE DEL TULIJA, CHIAPAS, MEXICO

Velvet Bean, Cover Crop in Chol Agriculture from Tulija Valley, Chiapas, Mexico

Luciano Pool Novelo¹, Noé S. León Martínez¹, Carmen González Santiago²
y Patricia Figueroa Fuentes³

RESUMEN

La agricultura del valle del Tulijá está en un proceso de intensificación con problemas de fertilidad del suelo, plagas, enfermedades y de poblaciones de arvenses en los campos de cultivo. Para sostener y elevar los rendimientos es necesario el uso de insumos y prácticas de manejo. El cultivo de cobertura resuelve algunos de estos problemas. Se seleccionaron diez parcelas de cultivo del valle del Tulijá con diferentes tiempos de adopción y adaptación del cultivo de cobertura para valorar sus efectos en la fertilidad del suelo. Se realizaron entrevistas a productores adoptantes de la tecnología para conocer sus experiencias. Los cambios en la fertilidad del suelo se valoraron por medio del rendimiento de maíz y de las arvenses y por análisis físicos, químicos y microbiológicos del suelo. Estos cambios se valoraron por medio de un análisis de varianza con el diseño de un pseudoexperimento en bloques completos al azar y también por correlaciones y regresiones. Los efectos del cultivo de cobertura son evidentes positivamente en la biomasa de arvenses y, en menor grado, en el P Olsen, y potasio y calcio intercambiables del suelo. Al aumentar los años de uso de la cobertura, la biomasa de arvenses incrementó desde 1.7 t ha⁻¹ hasta 6.4 t ha⁻¹ en sitios con cero y nueve años con uso de cobertura, respectivamente; el rendimiento del maíz incrementó desde 2158 kg ha⁻¹ hasta 4424 kg ha⁻¹ en sitios con cero y nueve años con uso de cobertura, respectivamente. El historial de uso del cultivo de cobertura es reciente, las tierras son fértiles y tal vez por ello se obtienen altos rendimientos tanto con

cultivos de cobertura como sin ellos; sin embargo, se observa un incremento en el rendimiento de maíz por efecto del cultivo de cobertura. El rendimiento de maíz está directamente relacionado con el contenido de P Olsen e inversamente con el contenido de calcio y con la interacción entre hierro y P Olsen. El modelo que mejor explica al rendimiento es: $Y = 3908.44 + 0.85P^2 - 0.002Fe^2P^2 - 0.00003Ca^2$.

Palabras clave: Fertilidad de suelos, actividad microbiana, innovación tecnológica, *Mucuna pruriens*, maíz.

SUMMARY

The Tulija valley agriculture is undergoing an intensification process with problems of soil fertility, diseases, pests, and weeds. To increase and to maintain the yield it is necessary to apply improvement products and to realize management practices. Ten plots of land were selected in the Tulija valley with different adoption and adaptation times of the cover crop to analyze the effects on soil fertility. Interviews were obtained with adopters of this technology to know their experiences. Changes in soil fertility were valued through maize and weed yields, and physical, chemical and microbiological analyses. These changes were valued through a pseudo-experiment design in randomized blocks, also by correlation and regression. The effects of cover crop are positively evident on weed yields, also on Olsen phosphorus, and exchangeable calcium and potassium of the soil. The weed yields increased from 1.7 t ha⁻¹ to 6.4 t ha⁻¹ in plots with zero and nine years with cover crop, respectively; corn yield increased from 2158 kg ha⁻¹ to 4424 kg ha⁻¹. The history of the use of cover crop is recent, the lands are fertile, so it maybe for this reason that maize yields are high both in crop lands with and without cover crop; however, an increase in corn yield by effect of cover crop is observed. The corn yield is directly related with Olsen phosphorus content, and

¹ Colegio de la Frontera Sur, San Cristóbal de las Casas, Chiapas, México.

² AMEXTRA, A. C.

³ Estudiante de la Maestría "Recursos Naturales y Desarrollo Rural" del Colegio de la Frontera Sur, San Cristóbal de Las Casas, Chiapas, México.

inversely with calcium content and also inversely with the interaction between iron and Olsen phosphorus content. The best model of the corn yield is:

$$Y = 3908.44 + 0.85P^2 - 0.002Fe^2P^2 - 0.00003Ca^2.$$

Index words: Soil fertility, microbial activity, technological innovation, *Mucuna pruriens*, maize.

INTRODUCCION

El desarrollo de la agricultura transita por una secuencia histórica que inicia con el uso extensivo del suelo, lo que implica un periodo corto de cultivo y otro largo de descanso; paulatinamente el tiempo agrícola aumenta y el de descanso disminuye, hasta llegar a la máxima expresión en la agricultura intensiva con uno o varios cultivos al año. En este proceso de intensificación se agravan los problemas de fertilidad en el suelo y de plagas, enfermedades y arvenses en los campos de cultivo. Para sostener y elevar los rendimientos se inyecta energía a las áreas agrícolas vía insumos y prácticas de manejo (Pool, 1997).

En los lugares con clima templado el proceso de intensificación ha desarrollado hasta cultivos anuales continuos e inclusive a varios cultivos al año, con sistemas de roturación de tierras; sin embargo, en los lugares con clima cálido húmedo o subhúmedo es difícil dejar los sistemas de descanso con vegetación secundaria para pasar hacia sistemas de campos roturados, por la difícil lucha en contra de la naturaleza, y especialmente del impacto del clima sobre los suelos sin cubierta vegetal. Los agricultores establecen límites en los sistemas de roza quema (RQ). Este sistema consiste en un ciclo de uno o dos años de cultivo y seis o menos años de descanso en donde desarrolla la vegetación secundaria para recuperar la fertilidad del suelo y las condiciones para volver a cultivar este terreno nuevamente. Este descanso corto es insuficiente para recuperar la fertilidad del suelo y la disminución de plagas, enfermedades y plantas espontáneas que crecen en el terreno, incrementándose, en consecuencia, los problemas y los costos para la producción (Pool, 1997).

En los sistemas de roza quema, por el descanso corto, se pierden los fundamentos del sistema agrícola de roza tumba quema, y es necesaria la innovación tecnológica fundamentada en otros principios. Intensificar por la vía de campos roturados, eliminando de raíz a la vegetación secundaria, es factible para

productores con capital y propiedades en terrenos planos y profundos; sin embargo, para productores descapitalizados que cultivan en terrenos pedregosos, en laderas y con suelos delgados, solamente les es posible intensificar en el uso del suelo haciendo más eficiente el descanso corto con prácticas de manejo que les permita recuperar la fertilidad del suelo y disminuir la incidencia de plagas, enfermedades y plantas espontáneas. El cultivo de cobertura puede resolver algunos de estos problemas en los sistemas de producción con descanso corto, incluyendo los de erosión (López y Anaya, 1988).

Considerando que con el uso del cultivo de cobertura en el sistema tradicional de labranza y la adición de residuos de cosecha se aporta materia orgánica al suelo y que al mineralizarse estos residuos orgánicos se incrementa la cantidad de nutrimentos en el sitio, y en consecuencia se incrementa la producción de maíz y otros cultivos, la presente investigación tiene como objetivos:

1. Con base en sus experiencias y los resultados observados, conocer la opinión de algunos productores del valle del Tulijá que están adoptando el cultivo de cobertura.
2. Valorar el efecto del cultivo de cobertura en la fertilidad del suelo de campos de cultivo de tres comunidades del valle del Tulijá.

REVISION DE LITERATURA

Buckles (1993), citando a Tracy y Coe (1918), menciona que el cultivo de cobertura no es una tecnología nueva. A finales del siglo pasado llegó a los Estados Unidos y para 1918 ya se sembraban tres millones de hectáreas en Florida, Mississippi, Alabama, Louisiana y Georgia; también realizó entrevistas en la franja platanera de Guatemala y encuentra que fue introducido a América Central por la United Fruit Company en 1920 con el doble propósito de servir como mejorador del suelo para el cultivo de maíz y como cultivo forrajero para alimentar mulas.

En el litoral atlántico de Honduras fue introducido por agricultores guatemaltecos que emigraron a esa región; la difusión se realizó de un agricultor a otro, sin la asistencia de los servicios de extensión nacionales o privados. Actualmente en 55 % de la superficie sembrada con maíz usan frijol abono y producen 65 % del total de la producción en la región. El incremento en el rendimiento es atribuido a la

conservación de la humedad más que a la fijación de nitrógeno en los suelos. En la región hondureña los campesinos que adoptan el sistema de cobertura siembran 40 % más maíz en el ciclo de otoño-invierno que quienes no lo adoptan. Esto se debe a que la mano de obra necesaria para preparar la tierra usando el sistema de cobertura es cerca de 33 % de la requerida para un terreno con tres años en descanso con vegetación secundaria (Buckles *et al.*, 1992).

El valle del Tulijá es un territorio habitado por indígenas de la etnia Chol (95 %) y en menor grado por indígenas de la etnia tzeltal (5 %), ambas etnias son de origen mayense. Este valle se ubica al noreste del estado de Chiapas, en el municipio de Salto de Agua, situado entre 17°10' y 17°30' de latitud norte y 92°00' y 92°25' de longitud oeste, a una altitud promedio de 100 m. El clima es cálido húmedo [Af(m)], con lluvias todo el año, la oscilación térmica anual es de 5.6 °C. Precipitan al año 3345 mm, los meses más secos son marzo y abril, en los que caen al menos 100 mm mensuales. La temperatura media anual es 28.1 °C. El Valle del Tulijá se ubica en la Región Económica Selva, la orografía es irregular, con montañas y lomeríos pedregosos en las laderas que bordean el valle, y planicies con pequeños lomeríos en el fondo del valle. En las partes planas del valle predominan las actividades pecuarias y en las laderas los cultivos de autoconsumo (maíz y frijol, principalmente) y comerciales (café y cacao) (INEGI, 1983; García, 1988; Aguilar, 1997).

En 1958 el norteamericano Alberto Debok arribó al Valle del Tulijá, en donde estableció una escuela de presbiterianos para estudiantes de la región. Conjuntamente con Enrique Stij enseñaba actividades agrícolas alternativas a los estudiantes, destacando la siembra de "frijol nescafé" como cultivo de cobertura para mejorar los suelos. Establecieron varias formas de difusión de esta leguminosa, entre los que destacan la dispersión por aire (avionetas) y por tierra en los márgenes de las vías de comunicación. En 1974 la escuela se cerró; sin embargo, la tradición de sembrar esta leguminosa en la mayoría de los productores aledaños al centro de distribución inicial persistió (Aguilar, 1997). El "frijol nescafé" es conocido también como "frijol abono", "frijol terciopelo", "picapica mansa" y "ca'pé-ac" cuyo significado en Chol es frijol bejuco. Los kekchi, en Guatemala lo conocen como "quenk mula" (frijol de mula) y en inglés como "velvet bean". Esta leguminosa es también

denominado con varios nombres científicos: *Stizolobium deeringianum* Bort., *Mucuna pruriens*, *Mucuna deeringianum*, *Mucuna deeringiana* (Bort) Merril. Todos ellos son sinónimos, sin embargo, la Academia Nacional de Ciencias (NAS, 1979) la reporta como *Mucuna pruriens*. Para fines prácticos en este artículo la denominaremos "frijol terciopelo".

A partir de 1986 en la región Chol de Sabanilla, Salto de Agua, se inicia una labor de difusión de la Asociación Mexicana de Transformación Rural y Urbana, A. C. (AMEXTRA) en cinco comunidades donde se practicaba el sistema agrícola de roza quema (RQ). El día de hoy la gran mayoría de los productores ya no usan el fuego para preparar sus terrenos de cultivo. Es decir, usan el sistema de producción tradicional pero modificado, denominado roza sin quema con cobertura (RSQC). Este sistema se ha implementado en más de 40 comunidades y en cada una de ellas hay un diferente grado de adopción de la modificación y, por lo consiguiente, también de los resultados obtenidos. Las leguminosas usadas como cobertura son el frijol nescafé (*Mucuna pruriens*), el shalum o vit's (*Inga micheliana*) y el motie (*Erythrina chiapasana*), entre los más importantes. Se ha experimentado más en producción de maíz, pero también en frijol se han tenido muy buenos resultados. Cuando se inició con la difusión de esta modificación, los rendimientos de maíz eran muy bajos, pues los más exitosos producían hasta 800 kg ha⁻¹. Hoy en día, con el cultivo de cobertura se obtienen rendimientos mayores que 2500 kg ha⁻¹.

En el valle del Tulijá se realizan dos ciclos de cultivo al año: la milpa de año (cho'leel en Chol) en primavera-verano y el tornamil (mo'ol en Chol) en otoño-invierno. Estos dos ciclos, ambos de temporal, son posibles gracias a las altas precipitaciones durante todo el año. El cultivo del frijol terciopelo está más generalizado en el tornamil que en la milpa de año. En la milpa de año se utiliza principalmente en vegas y planadas. Se estiman 1000 ha de frijol terciopelo sembrado en el valle. 75 % de productores encuestados por Aguilar en 1996 dicen utilizar esta leguminosa porque mejora la fertilidad del suelo. El 25 % restante dice no utilizarla porque en ella se esconden animales no deseables; porque afloja el suelo y al utilizar variedades criollas de maíz de porte alto, poco resistentes al acame, y dadas las características topográficas de los terrenos, los vientos derriban las plantas en alta proporción; porque produce derrumbes

y porque no existe tradición de siembra (Aguilar, 1997).

El frijol terciopelo se establece entre febrero y marzo, cuando el maíz sembrado en tornamil (diciembre) está en antesis. En esta etapa la leguminosa se siembra entre las matas de maíz. Al momento de la cosecha del maíz (abril a mayo), el frijol terciopelo se encuentra en crecimiento vegetativo y su ciclo biológico concluye entre octubre y noviembre. Las vainas son algunas veces cosechadas para su siembra en otros terrenos, pero la mayoría de las veces se dejan en el terreno al momento de la roza (octubre a noviembre). Se siembra maíz nuevamente a fines de noviembre y principios de diciembre y las vainas de la leguminosa se encuentran en proceso de descomposición o dehiscencia, de tal manera que en enero y febrero las semillas comienzan a emerger nuevamente, iniciándose de nuevo el ciclo del cultivo de cobertura. En terrenos donde el frijol terciopelo se ha establecido, esta sucesión se efectúa por sí misma y continúa en el tiempo, siendo mínimos los cuidados que se le dan. En la segunda limpia de la milpa (enero a febrero), cuando la leguminosa se encuentra en rebrote, si llega a ser necesario, es podada en las puntas para evitar su rápido crecimiento y así retardar su desarrollo hasta la etapa final del ciclo biológico del maíz. Algunas veces esta leguminosa no rebrota en todo el terreno, por falta de semillas en las plantas, porque se le roza cuando aún no ha concluido su ciclo biológico. Cuando esto sucede, el cultivo de cobertura se siembra nuevamente entre febrero y marzo. La siembra del frijol terciopelo se realiza manualmente al voleo o con espeque, a una distancia aproximada de dos metros entre matas. Se depositan dos semillas por mata, con lo que se obtiene una densidad de 5000 plantas ha⁻¹. Se aplican entre cinco y siete kilogramos de semilla por hectárea (Aguilar, 1997).

Las ventajas del cultivo de cobertura se fundamentan en el mantenimiento de un "mulch" casi perenne que cumple múltiples funciones: estructura antierosiva eficiente y barata, conservación de agua y reciclaje de nutrimentos en el suelo y ayuda en el control de las arvenses (Buckles *et al.*, 1992). Considerando que el clima, el suelo, la topografía y otros factores ambientales determinan a las especies vegetales que se han de establecer en un sitio dado, esta leguminosa (frijol terciopelo) encuentra condiciones favorables para su desarrollo en climas cálidos con altas precipitaciones como el del valle del Tulijá;

sin embargo, en condiciones climáticas, topográficas o edáficas menos favorables, es posible que desarrollen mejor otras leguminosas como la cannavaia [*Cannavalia ensiformis* (L.) DC.] (Kessler, 1987) o el frijol arroz [*Vigna umbellata* (Thumb.)] (NAS, 1979).

MATERIALES Y METODOS

En el valle del Tulijá se hicieron entrevistas abiertas a 18 productores de siete comunidades (San Miguel, Reforma y Planada 387, Nueva Betania, Nuevo Mundo, Arroyo Palenque, El Bascán y Jerusalén), a informantes clave (el pastor) y a los técnicos de AMEXTRA, para conocer sus opiniones sobre los cultivos de cobertura en la agricultura. Las preguntas que sirvieron para conducir las entrevistas fueron: ¿Usa el cultivo de cobertura en su milpa?, ¿Cuántos años lo ha usado?, ¿Se usa en todos los terrenos?, ¿Tiene ventajas usarlo?, ¿Ha tenido problemas con su uso?, ¿Aumenta el rendimiento de maíz con el cultivo de cobertura? También se seleccionaron tres comunidades con antecedentes en el uso del cultivo de cobertura en la producción agrícola para valorar su impacto en los sistemas de producción. Estas comunidades están localizadas a la orilla de la carretera y cercanas entre sí y fueron: Arroyo Palenque, El Bascán y Jerusalén, ubicadas respectivamente a orillas de los arroyos Palenque, Lucha Bascán y Misolhá. Estos tres arroyos son afluentes del Río Bascán, el que a su vez desemboca en el río Tulijá (INEGI, 1983). En estas tres comunidades se tenían bajos rendimientos de maíz y disputas por las mejores tierras (vegas de los ríos) entre los jóvenes y los ancianos, migración de los jóvenes a las ciudades para buscar oportunidades de trabajo, pero lo más grave era el inicio de un descontento social al desear mejores tierras para poder cultivar su maíz.

Con base en el Padrón de productores existentes en los archivos de AMEXTRA, A. C. se seleccionaron a diez productores de estas tres comunidades. Las parcelas seleccionadas se ubicaron entre 100 y 200 msnm, en dos facetas (lomeríos al pie de la montaña y en el fondo del valle) y con diferente historial de uso, con y sin cultivo de cobertura (Cuadro 1). Se hicieron recorridos de campo y se seleccionaron productores que han utilizado las técnicas de labranza de conservación. Para la definición de la muestra final fueron importantes: la facilidad de acceso y que las parcelas seleccionadas

Cuadro 1. Características ambientales de las parcelas seleccionadas en el Valle del Tulijá.

Sitio	Comunidad	Faceta	Posición en el paisaje	Uso de Fuego	Uso de Cobertura años
1	Arroyo Palenque	Lomerío al pie del monte	Ladera	si	0
2	Arroyo Palenque	Lomerío en el valle	Valle	si	0
3	Lucha Bascán	Planicie en el valle	Valle	no	2
4	Arroyo Palenque	Lomerío en el valle	Valle	no	3
5	Jerusalén	Lomerío en el valle	Valle	no	4
6	Jerusalén	Lomerío en el valle	Valle	no	4
7	Arroyo Palenque	Lomerío al pie del monte	Ladera	no	4
8	Arroyo Palenque	Lomerío en el valle	Valle	no	5
9	Lucha Bascán	Planicie en el valle	Valle	no	6
10	Arroyo Palenque	Lomerío en el valle	Valle	no	9

estuvieran en un área compacta (cercanas entre sí) y relativamente homogénea y con variación altitudinal no mayor que 100 metros. Las parcelas seleccionadas se ubican en las unidades de paisaje "fondo del valle" y "lomeríos" circundantes, que es en donde se usa el cultivo de cobertura (Cuadro 1). Se descartó a la montaña porque en esta condición no se intensifica en el uso del suelo con cultivo de cobertura, por su dificultad de acceso y por su alta pedregosidad.

Se trabajó en el ciclo de milpa de año (primavera-verano), que inicia entre abril y mayo y finaliza entre septiembre y octubre. Los "pseudotratamientos testigo" son las parcelas con cero años de uso de cultivos de cobertura (sitios 1 y 2), los otros "pseudotratamientos" fueron los otros sitios con 2, 3, 4, 5, 6 y 9 años con cultivos de cobertura (Cuadro 1). En cada una de las parcelas se establecieron tres lotes de observación (cada uno de estos lotes de observación fueron las "pseudorepeticiones". En el caso particular de los lomeríos se ubicaron en la loma, en la ladera y al pie del lomerío. En los terrenos planos inclinados (laderas) cada uno de los tres lotes se ubicaron en la parte superior, media e inferior, respectivamente. En cada uno de los treinta sitios se tomaron muestras de vegetación secundaria, arvenses, cultivos y suelos.

El efecto del cultivo de cobertura se valoró por medio de los rendimientos de maíz, de arvenses y por los resultados analíticos de las muestras de suelos. Se tomaron muestras compuestas de suelo de 0 a 20 cm, en un diseño sistemático en cuadrícula, realizado al momento del deshierbe, en cada una de las repeticiones y de las parcelas. A estas muestras se les determinó la humedad aprovechable, la textura, la materia orgánica, el pH, el fósforo Olsen, la acidez intercambiable, el hierro extractable, calcio, magnesio y potasio intercambiables, y la actividad y biomasa microbianas.

El maíz se valoró en un surco de 10 metros. Las arvenses y la cobertura del frijol terciopelo se muestrearon en un metro cuadrado (para determinar cantidad de materia orgánica adicionada al momento de la primera limpia). El análisis estadístico de las variables de respuesta se hizo por medio de un diseño en bloques completos al azar (pseudoeperimento), por correlación y regresión entre las diferentes variables en cada una de las muestras de suelos, la biomasa de arvenses y el rendimiento de maíz.

RESULTADOS Y DISCUSION

El cultivo de cobertura con frijol terciopelo es una innovación tecnológica en proceso de adopción y adaptación, algunos de los diferentes actores que participan en el mismo expresan diferentes opiniones que deben ser tomadas en cuenta para ser más eficientes en las propuestas de innovaciones. Agrupando algunas de las respuestas y experiencias obtenidas por medio de las entrevistas, expresaremos algunas opiniones.

Ejemplos Representativos de Respuestas y Experiencias Obtenidas en las Entrevistas

Los efectos de la innovación tecnológica no se obtienen inmediatamente.

- Cuando la tierra se usa demasiado, ya no da, por eso la gente tiene que buscar como hacer, así es como se implementa el uso del frijol terciopelo (El Pastor).
- En Nueva Betania los socios no han tenido los beneficios inmediatos que esperaban, por lo que hay inconformidad. Pensaban que con un año de sembrar el frijol terciopelo iban a tener una mejor producción, pero los avances que han tenido con el uso del cultivo

de cobertura han sido mínimos y muy lentos, por lo que se ven desanimados (Ing. Carmen, Delegado de AMEXTRA).

- Con roza sin quema, conservando la cobertura, fue cuando (Cristóbal) empezó a cosechar más maíz, frijol, calabaza, pero sólo vio resultados hasta el tercer año, empezando a salir de la crisis. Esta historia se ha visto así en muy pocas comunidades, más bien han habido altibajos, ya que si no funciona pronto la técnica, la gente se desanima y la abandona.

Cuando se ven los beneficios de la innovación tecnológica, ésta es adoptada.

- El tornamil con el frijol terciopelo es una manera muy buena, empezó hace dos años y cada hectárea produce entre 1.2 y 1.5 toneladas y son dos cosechas al año. Nuestra milpa tradicional ya no da nada, de 500 a 800 kg, queremos dejar descansar la tierra y ya no quemar. En Nuevo Mundo hay todavía buena tierra (Informante desconocido).

- Tiene una hectárea sembrada con frijol terciopelo para su tornamil, empezó hace tres años y le ha funcionado, despacio pero que si da, lo sembró para no morir de hambre, porque con la falta de lluvias en la milpa de año casi no saca nada, la temporada pasada sembró dos hectáreas y cosechó 200 kg, mientras que con el tornamilpa cosechó 500 kg. Para no quemar se necesita sembrar frijol terciopelo para que la tierra se abone (Don Simón).

- Tiene media hectárea para probar si funciona el frijol terciopelo. La primera cosecha del tornamilpa fue buena, de cinco zontles (2000 mazorcas) en media hectárea, el siguiente año cosechó siete zontles (2800 mazorcas) y este año no sembró (Felipe).

- Su milpa de año es de una hectárea, cosecha 20 zontles (aproximadamente 1.5 toneladas), en su tornamil con el frijol terciopelo cosecha entre 25 y 30 zontles (Francisco, Nuevo Mundo).

- Tiene sembrada media hectárea de tornamilpa en planada, empezó hace tres años, el primer año cosechó cinco costales de mazorca, después seis costales. Este año calcula cosechar ocho costales. El maíz en tornamil lo siembra en diciembre y lo cosecha en abril o mayo (Domingo).

- En la comunidad de El Faro tienen 10 años con el sistema del cultivo de cobertura, antes de usar el frijol terciopelo la producción era de 500 kg ha⁻¹, en tres años de haber usado la técnica, llegaron a cosechar 2.5 t ha⁻¹. Hay quien actualmente cosecha hasta tres

toneladas, pero saben que es por la calidad de la tierra (Cristóbal Pérez, Técnico de AMEXTRA).

La calidad de la tierra es importante para el establecimiento del cultivo de cobertura.

- En Nueva Betania se tiene trabajando cinco años con el frijol terciopelo y no han habido grandes cambios porque el suelo es muy pedregoso y arenoso y la leguminosa se seca pronto (Cristóbal Pérez, Técnico de AMEXTRA).

- El tornamilpa con frijol terciopelo está funcionando bien porque tienen partes que son buenas tierras. También tienen "Sac tsojc lum" que es una capa de tierra negra muy delgada y abajo está chicloso, como blanca, ésta no es muy buena y la mayoría es así, en esa parte casi no se produce el maíz, esta tierra se observa más en las subiditas (laderas), sólo en las partes planas es tierra buena y todos tenemos de esta tierra (Comunidad Nuevo Mundo).

- Tiene tierra arenosa, "ji lum", es tierra revuelto con piedra y se seca muy pronto. Tiene dos hectáreas, una es buena, la otra está muy seca y está muy en subida. Aquí el frijol terciopelo no funciona bien (Don Nicolás).

- Las comunidades de Nueva Betania y Nuevo Mundo son muy diferentes, ya que tienen condiciones físicas diferentes y por lo tanto también la respuesta al frijol terciopelo como cultivo de cobertura es diferente. En Nueva Betania tienen un terreno quebradizo con suelos muy delgados y enseguida está la roca, con la lluvia se lavan muy fácilmente, en estos terrenos predominan los pastizales. En Nuevo Mundo la tierra es más suave, son suelos más profundos y todavía quedan manchoncitos de selva (Delegado de AMEXTRA).

- Tiene dos años de utilizar el frijol terciopelo en media hectárea, únicamente para probar si se logra mejorar la producción del maíz. Los cambios que ha tenido son mínimos, porque la tierra es de muy mala calidad, arenosa y pedregosa: "ji lum" (Mateo).

- El suelo obstaculiza el avance y el crecimiento económico (Felipe).

Existen otras especies de leguminosas adaptadas a ambientes más adversos.

- El frijol terciopelo está funcionando en las partes planas; ahora, donde no quiere dar el maíz, hay que cambiar a otra leguminosa. Se está probando con otra especie en las laderas y también en donde no quiere dar el maíz. La cannalia es una especie que desarrolla en

laderas y suelos pedregosos en climas con menor precipitación (Kessler, 1987).

La época del año determina las prácticas agrícolas y el rendimiento del cultivo.

- Tiene sembrada media hectárea de tornamilpa en planada, empezó hace tres años, el primer año cosechó cinco costales completos de mazorca, después seis costales. Este año calcula cosechar ocho costales. El maíz en tornamil lo siembra en diciembre y lo cosecha en abril o mayo. Aparte del tornamil está el maíz de año que se siembra en mayo y cosecha en diciembre, este está asociado con calabaza, yuca, camote y frijol. (Domingo, Nueva Betania).

- En la milpa de año se sigue quemando, pero no como antes, ahora hay quien a veces no quema, pero la experiencia dice que si no queman no da, no pega la semilla. En la milpa de año cosechan en una hectárea de 10 a 15 zontles, un zontle son 400 mazorcas. En el tornamil cosechan de 20 a 25 zontles. Para sembrar usan la macana y semilla criolla.

Factores de la Adopción del Cultivo de Cobertura

Considerando los resultados de las entrevistas se deriva que la adopción de la práctica del cultivo de cobertura en el valle del Tulijá depende de los siguientes factores.

Tiempo necesario para que los beneficios de la innovación tecnológica se manifiesten. En un proceso de cambio de una tecnología fundamentada en el barbecho con desarrollo de vegetación secundaria y quema, a una tecnología fundamentada en un descanso corto con cultivo de cobertura, sin quema y sin incorporar la biomasa vegetal al suelo, los cambios en la fertilidad del suelo son relativamente lentos y solamente se detectarán en el mediano y largo plazos.

dependiendo de las condiciones ambientales, tecnológicas y de los recursos genéticos utilizados.

Relación entre la calidad de la tierra y las especies utilizadas. Existen muchas leguminosas adaptadas a diferentes condiciones edáficas, en las que (por la dinámica de la humedad, la reacción del suelo, o la disponibilidad de nutrimentos) expresan su potencial de rendimiento. Es fundamental conocer los suelos del lugar, los requerimientos de las plantas por establecer, y con base en ellos, junto con los productores definir las especies a probar.

Beneficios obtenidos por los productores. Una propuesta tecnológica podrá tener impactos ambientales benéficos y recuperar la capacidad productiva de la tierra; sin embargo, si el productor no obtiene beneficios por el esfuerzo invertido, abandona la innovación propuesta. Ante esto es necesario estar alerta en el proceso de adaptación, buscando siempre mayor eficiencia de la innovación tecnológica y estableciendo diálogos constantes con los productores adoptantes, para adecuar la propuesta innovadora a sus condiciones ecológicas y socioeconómicas.

El cultivo de cobertura es de reciente introducción en el área, se están adaptando y adoptando, los productores están probando diferentes ciclos de rotación y en este proceso se están obteniendo los conocimientos para encontrar la mejor forma de manejo, tanto en el tiempo como en el espacio, con la que se diseñará la tecnología por aplicar.

Los Cambios en la Fertilidad del Suelo por Efecto del Cultivo de Cobertura

Con base en los análisis de muestras de suelos y arvenses tomadas en 10 parcelas de productores con

Cuadro 2. Historial de uso de las 10 parcelas seleccionadas en el Valle del Tulijá.

Sitio	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996
1	VS	MCQ		VS		MCQ		VS		MCQ
2		MCQ					VS			MCQ
3				VS						MCQ
4	MCQ				VS					CC
5				VS					CC	
6	VS	CC		VS	CC	VS	CC	VS		CC
7		VS								CC
8		VS		CC				VS		CC
9			CC			VS		CC	VS	CC
10				CC		VS			VS	CC
	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996

MCQ = Milpa con quema, VS = Vegetación secundaria, CC = Cultivo de cobertura.

Cuadro 3. Rendimiento de maíz y arvenses y características físicos, químicos y biológicos de suelos del Valle del Tulijá.

T	R	HA %	pH	MO %	Ca	Mg	K	Fe	Ac. Int	Limo %	Arc.	P ppm	AM mg C 10 ⁻¹ g de suelo	BM	Arv. kg ha ⁻¹	Maíz
1	1	16.4	5.2	11.3	2612	364	224	109	1.5	28	26	18.9	2.52	3.85	3970	3247
1	2	15.8	5.3	11.7	2999	368	341	97	1.6	36	24	20.3	2.29	4.48	3660	3472
1	3	15.2	5.4	12.0	3385	371	458	85	1.7	48	22	21.6	2.06	5.11	3340	3647
2	1	19.6	5.6	11.7	6238	1020	396	164	0.2	38	38	25.4	3.58	5.41	2890	2158
2	2	21.2	5.5	4.5	6269	1430	492	164	0.1	24	54	23.5	2.90	9.11	5320	2158
2	3	18.5	5.6	8.8	5837	1274	770	133	0.8	26	52	17.8	3.42	7.04	2760	2158
3	1	13.2	5.7	7.0	2529	360	532	71	1.4	24	28	22.1	3.89	1.33	4390	3146
3	2	14.4	5.8	6.7	2773	376	576	74	1.0	26	30	22.1	3.80	1.41	3840	4124
3	3	14.8	4.9	7.2	1214	137	394	113	0.6	24	30	27.8	3.85	1.37	3560	2094
4	1	14.8	5.2	6.4	2256	389	362	107	0.2	32	24	32.1	2.32	4.00	3150	1377
4	2	15.1	5.2	5.6	1779	294	662	74	0.2	30	18	23.0	2.32	4.00	7190	2260
4	3	17.1	5.4	4.7	2426	477	824	90	0.2	36	32	19.2	2.32	4.00	8840	4217
5	1	14.7	4.5	5.0	1208	163	376	96	0.5	24	28	13.8	3.18	0.74	2120	4332
5	2	15.7	4.8	4.7	1688	292	576	74	0.5	30	32	17.3	2.72	2.89	1190	3020
5	3	15.2	4.7	4.9	1448	228	476	85	0.5	27	30	15.6	1.99	1.56	1660	3676
6	1	14.0	4.7	3.9	1553	321	250	96	1.2	34	26	21.3	1.82	2.52	5480	2148
6	2	13.6	5.7	5.9	4368	794	320	61	0.2	26	26	34.8	2.02	2.22	2660	4533
6	3	13.8	5.2	4.9	2961	558	285	79	0.7	30	26	28.1	2.74	4.67	4020	3340
7	1	15.3	6.6	9.3	5621	1152	376	27	0.1	44	20	34.0	3.93	6.52	4150	4037
7	2	16.4	6.7	9.4	5549	1199	452	33	0.1	24	22	24.3	3.27	7.56	2920	2737
7	3	15.9	6.7	9.4	5585	1176	414	30	0.1	34	21	29.2	3.60	7.04	3540	3387
8	1	15.2	6.9	8.2	4926	1018	542	21	0.1	22	16	32.4	3.45	3.26	4150	4534
8	2	14.2	6.5	8.6	5048	1179	424	25	0.1	30	34	32.4	3.58	5.93	4730	4314
8	3	14.7	6.7	8.4	4987	1099	483	23	0.1	26	25	32.4	3.52	4.60	4440	4424
9	1	12.4	6.5	7.5	7709	955	714	29	0.1	28	46	55.3	1.95	6.67	2280	3304
9	2	14.4	6.3	8.3	6994	867	579	40	0.1	29	47	47.7	2.50	4.22	2300	3895
9	3	16.4	6.1	9.0	6279	978	444	50	0.1	30	48	40.0	2.35	4.81	2320	4487
10	1	16.4	6.2	8.0	6269	1279	460	36	0.1	28	30	37.0	2.46	6.81	6510	2847
10	2	14.8	6.3	9.3	7717	1293	570	33	0.1	18	44	28.9	2.43	6.52	4010	1478
10	3	18.7	6.5	7.8	5589	1129	406	32	0.1	32	38	28.6	2.39	6.22	4520	3544

T = Tratamiento, R = Repetición, HA = Humedad aprovechable del suelo, MO = Materia orgánica del suelo, Ca, Mg y K = Calcio, magnesio y potasio intercambiables, Arv. = Arvenses, AM = Actividad microbiana del suelo, Fe = Hierro extractable, Ac. Int. = Acidez intercambiable, Arc. = Arcilla del suelo, P = Fósforo Olsen, AM y BM = Actividad y biomasa microbianas del suelo, Arv. = arvenses.

diferente historial de uso (Cuadros 2 y 3), se realizaron análisis de varianza, correlaciones y regresiones (Cuadros 4, 5 y 6). Los resultados del análisis de varianza (Cuadros 4 y 5) señalan que entre los suelos de las parcelas existen diferencias altamente significativas por magnesio, calcio, hierro y acidez intercambiables; pH, fósforo Olsen, materia orgánica, biomasa y actividad microbiana, contenido de arcilla y humedad aprovechable; y diferencias significativas en la biomasa de arvenses.

El análisis de correlación entre el historial de uso del cultivo de cobertura de las diferentes parcelas, el rendimiento de maíz, la población de arvenses y algunas características físicas, químicas y biológicas de los suelos, señalan que se establecen correlaciones altamente significativas entre los años con cultivo de cobertura y las poblaciones de arvenses de las parcelas, correlaciones entre los años con cultivo de cobertura y el potasio intercambiable directamente positivas al 10 % de probabilidad. Las correlaciones entre los años con cultivo de cobertura con el P Olsen,

y calcio intercambiable del suelo fueron negativas, al 10 % de probabilidad, en ambos casos.

La correlación negativa entre el calcio y los años con cultivo de cobertura es explicable porque en los sitios más pedregosos hay mayores concentraciones de calcio y es precisamente en donde desarrolla menos este cultivo de cobertura. En este mismo sentido, la correlación negativa entre el cultivo de cobertura y el P Olsen del suelo se explica por un lado a que a mayor calcio intercambiable hay mayor cantidad de P Olsen (Cuadro 6).

En las relaciones entre nutrientes del suelo y el rendimiento de maíz, solamente el hierro extractable correlacionó significativa y negativamente con el rendimiento de maíz, de modo tal que con el incremento del hierro disminuyó el rendimiento del maíz. Esto es explicable por las relaciones antagónicas que se establecen entre el hierro extractable y el P Olsen, de modo tal que cuando se incrementa el hierro extractable disminuye la cantidad de P Olsen en el suelo.

Cuadro 4. Principales estadísticos del análisis de varianza de rendimientos de maíz y arvenses y características físicas, químicas y biológicas de suelos del Valle del Tulijá.

Características	F calculada	GL	R ²	CV	Valor medio
Magnesio intercambiable (ppm)	44.59**	9	0.96	14.6	755
Calcio intercambiable (ppm)	29.19**	9	0.94	15.8	4194
Hierro extractable (ppm)	26.35**	9	0.93	19.0	71.7
pH	21.36**	9	0.91	4.6	5.7
Acidez intercambiable (ppm)	13.11**	9	0.87	50.1	0.48
Arcilla (%)	12.78**	9	0.87	15.0	31.2
Biomasa microbiana (mg 10 ⁻¹ g de suelo)	12.38**	9	0.86	22.3	4.5
Actividad microbiana (mg 10 ⁻¹ g de suelo)	12.26**	9	0.86	11.3	2.8
Fósforo Olsen (ppm)	10.38**	9	0.84	17.1	27.6
Humedad aprovechable (%)	9.92**	9	0.78	7.2	15.6
Materia orgánica (%)	7.71**	9	0.79	17.4	7.7
Arvenses (t ha ⁻¹)	3.06*	9	0.61	33.7	3.9
Potasio intercambiable (ppm)	2.04ns	9	0.54	26.4	472
Maíz (kg ha ⁻¹)	1.86ns	9	0.50	26.0	3272
Limo (%)	1.37ns	9	0.45	20.2	29.6

** , * , + y ns = Correlaciones significativas al 1, 5, 10 % y no significativas, respectivamente.

Entre el rendimiento del maíz y la concentración de nutrimentos se establecieron relaciones no lineales, de modo que al hacerles una transformación cuadrática a los valores de los nutrimentos del suelo y realizar un análisis de regresión, entre el rendimiento de maíz (Y) y estas propiedades químicas, se encontró que el rendimiento está directamente relacionado con el contenido de P Olsen e inversamente con el contenido de calcio y con la interacción entre hierro y P Olsen. El modelo que mejor explica al rendimiento es:

$$Y = 3908.44 + 0.85P^2 - 0.002Fe^2P^2 - 0.00003Ca^2$$

Los rendimientos de maíz no muestran diferencias significativas entre tratamientos; sin embargo, hay una diferencia de 2266 kg ha⁻¹ entre el sitio con menor rendimiento promedio y el de mayor rendimiento promedio (Cuadro 5). Con el Tratamiento 8, con cinco años usando cultivo de cobertura, se obtuvo el mayor

rendimiento promedio, bajo una rotación alternada cada dos años entre cultivo de cobertura y vegetación secundaria; le sigue el Tratamiento 9, con seis años usando cultivo de cobertura y una rotación similar en ciclos de tres años en la misma. Al parecer, alternar la rotación cada dos o tres años es una buena propuesta de manejo.

Los Tratamientos 5, 6 y 7, con cuatro años con cultivo de cobertura reportan rendimientos similares entre ellos, y vienen siendo comparables al rendimiento obtenido con el testigo de referencia, Tratamiento 1 (milpa con quema después de tres años con vegetación secundaria). Con el Tratamiento 3 (dos años con cultivo de cobertura) se obtiene mejor rendimiento que con el Tratamiento 4 (tres años con cultivo de cobertura), entre ellos la diferencia más importante es su posición en el fondo del valle (uno está en la

Cuadro 5. Valores medios de nueve variables de respuesta en tierras del Valle del Tulijá.

1		2		3		4		5		6		7		8		9	
T	C	T	P	T	HA	T	MO	T	BM	T	AM	T	Arv	T	pH	T	Maíz
años		ppm		%		%		mg de C 10 ⁻¹ g de suelo		g de suelo		t ha ⁻¹				kg ha ⁻¹	
4	9	9	47.7	2	19.8	1	11.7	2	7.2	3	3.9	4	6.4	8	6.7	8	4424
8	6	8	32.4	10	16.6	7	9.4	7	7.0	7	3.6	10	5.0	7	6.7	9	3895
3	5	10	31.5	7	15.9	8	8.4	10	6.5	8	3.5	8	4.4	10	6.3	5	3676
10	4	7	29.2	1	15.8	10	8.4	9	5.2	2	3.3	6	4.1	9	6.3	1	3472
2	4	6	28.1	4	15.7	2	8.3	8	4.6	5	2.6	3	3.9	2	5.6	7	3387
1	4	4	24.8	5	15.2	9	8.3	1	4.5	10	2.4	1	3.7	3	5.5	6	3340
5	3	3	24.0	8	14.7	3	7.0	4	4.0	4	2.3	2	3.7	1	5.3	3	3121
7	2	2	22.3	9	14.4	4	5.6	6	3.1	1	2.3	7	3.6	4	5.3	10	2623
6	0	1	20.3	3	14.1	6	4.9	5	1.7	9	2.3	9	2.3	6	5.2	4	2618
9	0	5	15.6	6	13.8	5	4.9	3	1.4	6	2.2	5	1.7	5	4.7	2	2158
DSH		13.8		3.3		3.9		3.0		0.9		3.8		0.8		2490	

T = Tratamiento, C = Cultivo de cobertura, P = Fósforo Olsen, HA = Humedad aprovechable, MO = Materia orgánica, BM = Biomasa microbiana, AM = Actividad microbiana, Arv = Biomasa de arvenses, Maíz = Rendimiento de grano de maíz, DSH = Diferencia significativa honesta.

Cuadro 6. Coeficientes de correlación entre propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo y el cultivo de cobertura en el Valle del Tulija. N = 30.

K	0.33 ⁺										
Arv	0.54**										
MO	-0.03ns	0.44**									
AM	0.19ns	0.31 ⁺									
Ca	0.32 ⁺	0.79**	0.44**								
Mg	-0.19ns	0.79**	0.79**	0.91**	0.41 [*]						
Fe	0.18ns	-0.72**	-0.72**	-0.36 [*]	0.51**	-0.34 [*]					
Maíz	-0.19ns	0.29ns	0.04ns	0.00ns	-0.27ns	-0.01ns	-0.48**				
Acidez	-0.02ns	-0.51**	0.21ns	-0.53**	-0.17ns	-0.60**	0.39 [*]				
P	-0.35 ⁺	0.63**	0.16ns	0.66**	-0.31 ⁺	0.48**	-0.54**	-0.52**			
Arc	-0.26ns	0.06ns	-0.04ns	0.54**	0.40 [*]	0.43 [*]	0.25ns	-0.024ns	0.38 [*]		
BM	-0.09ns	0.57**	0.37 [*]	0.76**	0.52**	0.83**	-0.12ns	-0.39 [*]	0.15ns	0.37 [*]	
	CC	pH	MO	Ca	HA	Mg	Fe	Acidez	K	Arc	

K = Potasio, Arv = Arvenses, MO = Materia orgánica del suelo, AM = Actividad microbiana del suelo, Ca = Calcio, Mg = Magnesio, Fe = Hierro, Maíz = Rendimiento de maíz, P = Fósforo Olsen, Arc = Arcilla del suelo, BM = Biomasa microbiana del suelo, CC = Años con cultivo de cobertura.

** , * , + y ns = Correlaciones significativas al 1, 5, 10 % y no significativas, respectivamente.

planicie y el otro en el lomerío) y al parecer, por el rendimiento, es mejor condición la planicie que el lomerío.

El Tratamiento 10, con nueve años con cultivo de cobertura, produce menos de 3 t ha⁻¹ de maíz, y con base en los resultados observados con el Tratamiento 8 (ambos sitios se ubican en la misma comunidad y en la misma posición en el paisaje) pareciera ser más importante el periodo de rotación que la cantidad de años con cultivo de cobertura; o sea, con rotaciones cortas se obtiene mayor rendimiento que con periodos largos usando continuamente el cultivo de cobertura. Con el Tratamiento 2 (testigo de referencia en el valle y con cero años con cultivo de cobertura) se obtuvo el menor rendimiento.

CONCLUSIONES

El historial de uso del cultivo de cobertura es relativamente reciente y se encuentra en un proceso de adopción y adaptación. Los productores están obteniendo los conocimientos para encontrar la mejor forma de manejo, tanto en el tiempo como en el espacio, con la que se diseñará la tecnología por aplicar. Los efectos de la innovación tecnológica no se obtienen inmediatamente; sin embargo, cuando los productores ven sus beneficios, ésta es adoptada.

Los productores son conscientes de la calidad de la tierra para el establecimiento del cultivo de cobertura. El frijol terciopelo desarrolla bien en las tierras del valle y en los lomeríos circundantes; sin embargo, en los terrenos pedregosos de la montaña no crece bien.

Estas relaciones entre la calidad de la tierra y las especies a usar en el establecimiento del cultivo de cobertura es necesario tenerlas siempre presente y discutir las claramente con los productores adoptantes de la innovación tecnológica. Además del frijol terciopelo, existen otras especies de leguminosas adaptadas a suelos delgados y pedregosos, entre ellas se tienen a la cannalia y al frijol arroz.

Los efectos del cultivo de cobertura son evidentes positivamente en la biomasa de arvenses y en menor grado en el fósforo Olsen, y potasio y calcio intercambiables del suelo. Pareciera ser que con rotaciones cortas se obtiene mayor rendimiento que usando al cultivo de cobertura en rotaciones largas.

El rendimiento de maíz está directamente relacionado con el contenido de P Olsen e inversamente con el contenido de calcio y con la interacción entre hierro y P Olsen. El modelo que mejor explica al rendimiento es:

$$Y = 3908.44 + 0.85P^2 - 0.002Fe^2P^2 - 0.00003Ca^2$$

AGRADECIMIENTOS

A la Fundación Rockefeller, a los campesinos del valle del Tulija, a los técnicos de AMEXTRA y al Colegio de la Frontera Sur.

LITERATURA CITADA

Aguilar, J.C.E.. 1997. La utilización del nescafé (*Stizolobium deeringianum* Bort) como abono verde por los indígenas choles del valle de Tulija, al norte del Estado de Chiapas.

- México. pp. 33-40. *In*: Red de gestión de recursos naturales No. 7. Fundación Rockefeller. México, DF.
- Buckles, D., I. Ponce, G. Saín y G. Medina. 1992. Tierra cobarde se vuelve valiente: uso y difusión del frijol abono (*Mucuna deeringianum*) en laderas del Litoral del Atlántico de Honduras. CIMMYT. El Batán, México.
- Buckles, D. (ed.). 1993. Gorras y sombreros: Caminos hacia la colaboración entre técnicos y campesinos. CIMMYT. México, DF.
- García, E. 1988. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. Instituto de Geografía. Universidad Nacional Autónoma de México, México, DF.
- INEGI. 1983. Carta topográfica, Tumbalá (E 15 D 33). Escala 1:50 000. México, DF.
- Kessler, C.D.J. 1987. Agronomic studies of the tropical legume *Canavalia ensiformis* (L.) DC (jackbean) in Yucatán. México. Thesis Doctor of Philosophy. School of Plant Biology, University College of North Wales, Bangor, Gwynedd.
- López M.J. y M Anaya G. 1988. Conservación y productividad de suelos en la ladera de la Fraylesca, Chiapas. pp. 88-98. *In*: Memorias del segundo seminario sobre manejo de suelos tropicales en Chiapas. El Colegio de la Frontera Sur. Instituto de Historia Natural de Chiapas y Secretaría del Medio Ambiente Recursos Naturales y Pesca. San Cristóbal de la Casas, Chiapas, México.
- NAS. National Academy of Sciences. 1979. Tropical legumes: resources for the future. National Academy of Sciences. Washington, DC.
- Pool N., L. 1997. Intensificación en la agricultura tradicional y cambios en el uso del suelo. pp. 1-22. *In*: Parra V. M. y B. Díaz H. (eds.). Los Altos de Chiapas: Agricultura y crisis rural. Tomo 1. Los recursos naturales. El Colegio de la Frontera Sur, San Cristóbal de la Casas, Chiapas, México.

ANALISIS DE SENSIBILIDAD DE UN MODELO PREDICTIVO DISTRIBUTIVO DE PRODUCCION DE SEDIMENTOS Y NUTRIMENTOS ASOCIADOS (AGNPS), EN UNA MICROCUENCA DEL ARROYO DEL TALA, ARGENTINA

Sensitivity Analysis of a Distributed Predictive Model of Sediment and Associated Nutrients Production (AGNPS), in a Microbasin of the River Tala, Argentina

Massobrio M.J., Castiglioni M.G., Chagas C.I., Santanatoglia O.J.

RESUMEN

El AGNPS es un modelo paramétrico distributivo que estima la producción de sedimentos y nutrientes asociados en tierras agrícolas. Frecuentemente se recomienda el análisis de sensibilidad de los parámetros que intervienen en este tipo de modelos, debido al diferente comportamiento que asumen dichos parámetros ante variaciones en las características físico geográficas de las distintas cuencas. Se evaluó el modelo AGNPS en una microcuenca del Arroyo del Tala, República Argentina, usando dos metodologías para obtener la sensibilidad de sus parámetros. Se comprobó que la energía necesaria para la producción de sedimentos es gobernada principalmente por el clima (lluvia). Siguiendo el criterio de Lane y Ferreira se confirmó una sensibilidad significativa en curva número y precipitaciones; moderada en los coeficientes K, C y P de la EUPS y ligera en gradiente y longitud de las pendientes. El coeficiente de rugosidad de Manning obtuvo una clasificación entre significativa y moderada. Estos resultados fueron diferentes a los obtenidos en un estudio similar en otra microcuenca de Estados Unidos.

Palabras clave: Sensibilidad relativa, erosión, AGNPS, microcuenca.

SUMMARY

The AGNPS is a distributed parametric model that can estimate non-point source pollution from agricultural cropland. In the evaluation of this type of models a sensitivity analysis on model parameters is frequently recommended.

Cátedra de Manejo y Conservación de Suelos, Facultad de Agronomía, Universidad de Buenos Aires, Av. San Martín 4453-1417, Capital Federal, República Argentina.

Aceptado: Octubre de 1998.

We evaluated the AGNPS in a microbasin of the river Tala, Republic of Argentina, employing two methodologies to obtain the parameter's sensibility. It was proven that the necessary energy for the production of sediment and associated nutrients is governed mainly by climate (rain). Following the approach of Lane and Ferreira a significant sensibility was confirmed in curve number and precipitation; moderate in the K, C and P coefficients of the EUPS; and slight in land slope and field slope length. Manning's confirmed roughness coefficient showed a degree between significant and moderate sensibility. Our results on the relative sensitivity of AGNPS input variables were different in relation to an other basin in the United States of America.

Index words: Relative sensitivity, erosion, AGNPS, microbasin.

INTRODUCCION

Existen diferentes métodos de estimación de producción de sedimentos y nutrientes asociados; uno de los más comunes se basa en multiplicar la estimación de erosión, obtenida mediante la EUPS (Wischmeier y Smith, 1978), por el SDR (sediment delivery ratio).

Según Novotny (1980), uno de los inconvenientes en la aplicación de la EUPS (Wischmeier y Smith, 1978) como herramienta para la predicción de sedimentos producidos, se debe a que dicho modelo fue elaborado sobre la base de experiencias conducidas en pequeñas parcelas, resultando el cálculo de erosión proporcional a la energía de la lluvia, siendo mínimo el grado de atenuación ya que no son considerados aspectos relacionados con la reducción en la capacidad de transporte de la lámina de agua superficial, los cuales cobran importancia al trabajar en superficies mayores.

EL SDR es una estimación de la cantidad de suelo erosionado que alcanza los cuerpos de agua. El mismo

puede ser estimado experimentalmente en el campo, asociado con el monitoreo de sedimentos.

Si bien el SDR es una técnica fácil de aplicar (Sanders *et al.*, 1995), puede acarrear substanciales errores, tanto en sedimentos como en nutrientes asociados, disueltos y pesticidas.

Una alternativa de estimación de contaminantes en tierras agrícolas, es aplicar un modelo distributivo, como el AGNPS (Young *et al.*, 1989), el cual divide a una cuenca en un número finito de celdas, en función de la variabilidad espacial de los distintos parámetros que intervienen en el modelo.

El AGNPS estima la producción de sedimentos, la carga de nitrógeno y fósforo asociados a los mismos y también los nutrientes disueltos en el agua de escurrimiento que son generados en cada celda y en el total de la cuenca en estudio.

Esta información es sumamente valiosa para diseñar estrategias de conservación y reducir en consecuencia las externalidades ocasionadas por el uso de las tierras.

Dadas las diferencias en las características físico-geográficas de las cuencas, numerosos autores aconsejan estimar el grado de sensibilidad de los parámetros que intervienen en los modelos de producción de sedimentos para cada situación particular (Lane y Ferreira, 1980; Haan *et al.*, 1995). La importancia de dicha estimación radica en conocer el impacto que producirían errores en la estimación de cada parámetro, sobre los resultados predictivos del modelo, así como determinar cuáles son los más eficientes en reducir las externalidades debidas al uso de las tierras. De acuerdo con lo señalado anteriormente, Finney (1991) estimó la sensibilidad del AGNPS en una microcuenca agrícola de los Estados Unidos, con características de suelo y fisiográficas diferentes a las que se pueden encontrar en el norte de la provincia de Buenos Aires, Argentina.

El objetivo de este trabajo fue estimar la sensibilidad de los distintos parámetros que intervienen en la generación de información del AGNPS en una microcuenca localizada en la cuenca media del Arroyo del Tala, Provincia de Buenos Aires, República Argentina.

MATERIALES Y METODOS

La microcuenca bajo estudio posee una superficie aproximada de 308 ha, está ubicada en la vertiente

norte de la cuenca media del Arroyo del Tala, en la localidad de San Pedro, Provincia de Buenos Aires, República Argentina (Chagas *et al.*, 1993; Santanatoglia *et al.*, 1996). Esta microcuenca es representativa de las microcuencas de primer orden presentes en la cuenca media del Arroyo del Tala, que posee una extensión de 538 km². Siguiendo los requerimientos del modelo AGNPS la microcuenca fue dividida en 56 celdas de 5,5 ha cada una, de tal manera que estuvieran representadas las distintas situaciones de paisaje que se hallan en las vertientes y a lo largo de la cañada, de acuerdo con Hall y Olson (1991). Para cada celda se escogieron los valores más representativos de los distintos parámetros que necesita el modelo, a los que se denominó valores base (lluvia; curva número, CN; índice de rugosidad superficial de Manning, n; erodabilidad del suelo, K; uso de la tierra, C; longitud y gradiente de las pendientes, L y G; prácticas, P).

Se simuló una precipitación sobre la microcuenca de 60 mm, representativa de las lluvias ocurridas en la zona durante la primavera, correspondiente a una tormenta tipo II y con un antecedente de humedad I (Soil Conservation Service, 1975), y sobre un sistema cultural representativo de la región para dicha época (encontrándose 75 % de la superficie bajo los cultivos de trigo y soja; y el restante 25 % de la misma bajo pradera).

También se trabajó con una tormenta de 119 mm y con una subcuenca, dentro de la microcuenca, de 110 ha (22 celdas), para establecer posibles diferencias en el comportamiento de la sensibilidad de los parámetros del AGNPS ante esas modificaciones (Roehl, 1962).

Para determinar la sensibilidad de los distintos parámetros que intervienen en la generación de información del modelo (producción total de sedimentos y nutrientes asociados, N y P), se aumentó y disminuyó en 25 y 50 % el valor base de cada uno de los parámetros evaluados, mientras se dejaban los restantes sin modificar (Lane y Ferreira, 1980).

Con los resultados obtenidos de dicha simulación (producción de sedimentos y nutrientes asociados), se calculó la sensibilidad relativa de dos maneras:

1. Siguiendo el esquema propuesto por Finney (1991): se tomó en cuenta para cada parámetro los valores extremos (positivos y negativos) de variación en la producción de sedimentos y nutrientes asociados,

respecto al resultado obtenido a partir de los valores base. Se confeccionó, de acuerdo con este autor, una escala relativa en el cual el valor 100 le correspondió al parámetro con mayor amplitud en la respuesta. Respecto al factor P, dado que se tomó como valor base su máximo valor posible (1), no se lo pudo incluir dentro de este esquema de análisis.

2. Siguiendo el esquema propuesto por Haan *et al.* (1995): se estimó la variación porcentual en la producción de sedimentos y nutrimentos asociados a partir de modificaciones porcentuales unitarias de los distintos parámetros intervinientes (variación marginal).

RESULTADOS Y DISCUSION

Al aplicar el criterio de Finney (1991) en la microcuenca de 308 ha (Figura 1) surge que la energía necesaria para la producción de sedimentos es gobernada principalmente por el clima (lluvia). Al mismo resultado se llega analizando la información que surge al haber disminuido la superficie de la microcuenca analizada (Figura 2), y cuando se aumentó el valor de la agresión climática (Figuras 3 y 4).

A distintos resultados llegó Finney (1991) estudiando el comportamiento de una microcuenca en Estados Unidos. Este autor encontró que la energía necesaria para la producción de sedimentos y nutrimentos asociados provenía principalmente de la energía gravitatoria, debido al gradiente elevado (8 %)

de las pendientes presentes en dicha microcuenca (Figura 5).

Esto confirmaría lo apuntado por diversos autores (Lane y Ferreira, 1980; Workman y Skaggs, 1991; Nofziger *et al.*, 1992) en que la sensibilidad de los parámetros que intervienen en estos modelos depende de las características físico-geográficas de la cuenca en estudio. Siguiendo el criterio aplicado por Lane y Ferreira (1980), el grado de sensibilidad de los parámetros utilizados por el modelo aplicado a esta cuenca sería:

Significativo: lluvia caída (mm) y curva número (CN) en las dos microcuencas; índice de rugosidad superficial de Manning (n) en la microcuenca más grande.

Moderado: erodabilidad del suelo (K), uso de la tierra (C) y prácticas (P) en las dos microcuencas; índice de rugosidad superficial de Manning (n) en la microcuenca más chica.

Ligero: longitud y gradiente de las pendientes (L y G) en ambas microcuencas.

Con respecto a los resultados provenientes de la aplicación de la segunda conceptualización metodológica (Haan *et al.*, 1995) se observó un ordenamiento jerárquico similar al ya señalado (Cuadro 1).

Sin embargo, este último abordaje permite un análisis más minucioso del comportamiento de los parámetros analizados dentro de la microcuenca, determinando rápidamente para cada situación, qué

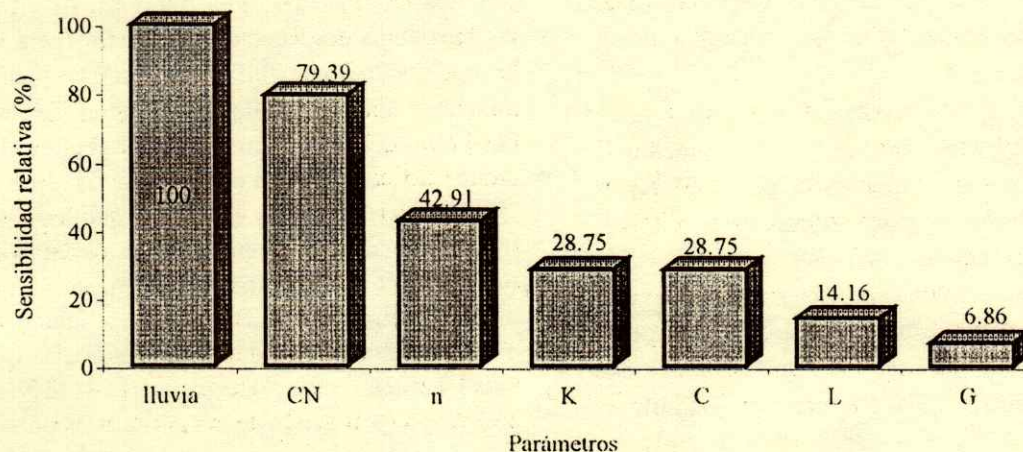


Figura 1. Sensibilidad relativa en la cuenca de 56 celdas con lluvia de 60 mm.

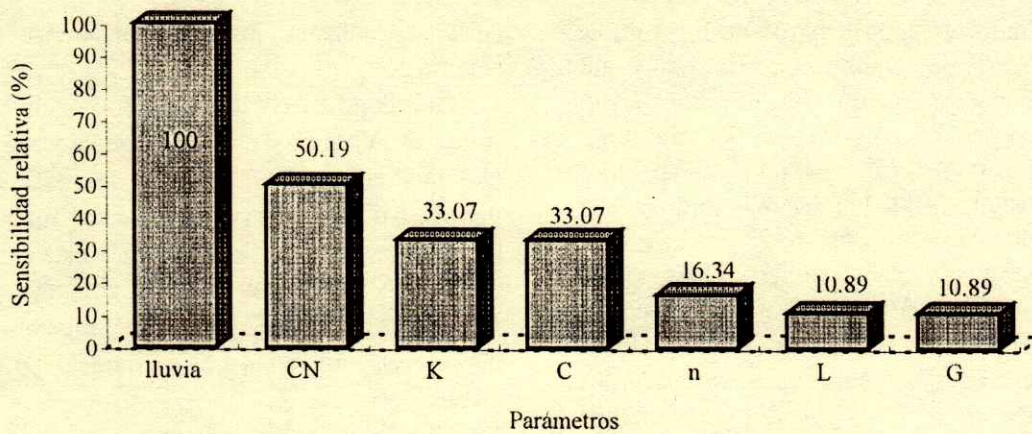


Figura 2. Sensibilidad relativa en la cuenca de 22 celdas con lluvia de 60 cm.

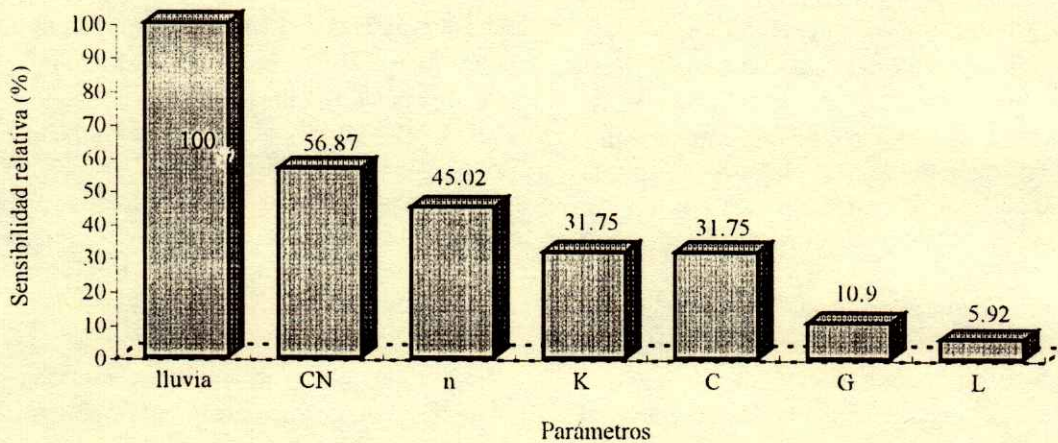


Figura 3. Sensibilidad relativa en la cuenca de 56 celdas con lluvia de 119 mm.

parámetros y por lo tanto qué elementos del manejo de las tierras son más eficientes en la reducción de la producción de sedimentos.

En el Cuadro 1 se detalla el comportamiento marginal de los parámetros CN, n, K y P, sin incluir C (por la similitud en los resultados respecto de K) ni tampoco L y G (dada su poca importancia relativa, visualizada en los anteriores gráficos).

Al analizar la sensibilidad de CN para la lluvia de 60 mm, se observa que este parámetro se comporta como el factor de manejo de las tierras que más limita la producción de sedimentos, ya que influye

sobre la cantidad de agua que escurre y transporta a las partículas desprendidas del suelo fuera del sistema hidrológico. Dicha influencia se ve disminuida al aumentar drásticamente la cantidad de lluvia caída (119 mm) debido a la menor capacidad de absorción de dicha cantidad de agua por la unidad hidrológica.

También se puede visualizar que los aumentos del índice de Manning no provocaron variaciones de igual magnitud en la cantidad de sedimentos y nutrientes asociados producidos, con respecto a disminuciones en el valor del mismo índice. Esto indicaría que la rugosidad tomada como base (n: 0,045-0,130) es bastante alta respecto al grado de las pendientes presentes en la

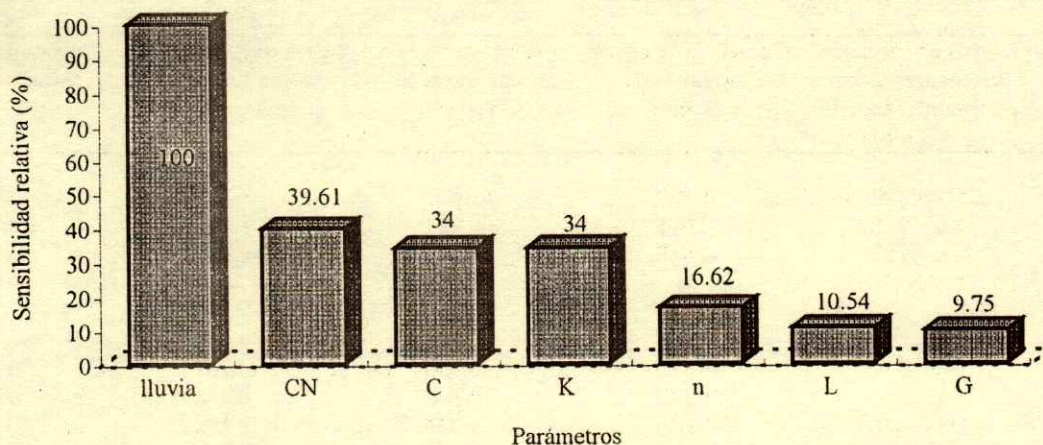


Figura 4. Sensibilidad relativa en la cuenca de 22 celdas con lluvia de 119 mm.

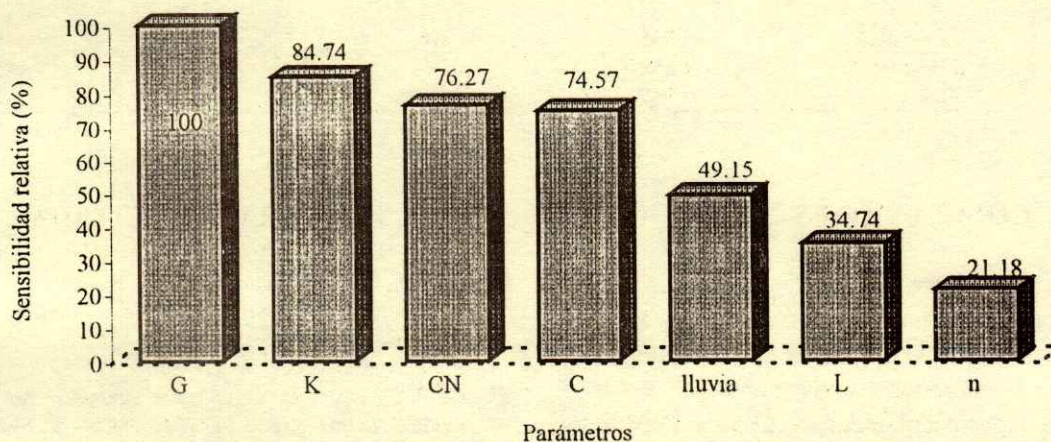


Figura 5. Sensibilidad relativa para una cuenca de Minnesota (Finney, 1991).

microcuenca analizada y en función de la lámina de escurrimiento producida por las lluvias simuladas.

Por otra parte la baja sensibilidad relativa del índice K demuestra que, para el área en estudio, no es un factor limitativo en la producción de sedimentos, sino que la mayor restricción está dada por el lento desplazamiento de las partículas desprendidas del suelo fuera de la unidad hidrológica, debido fundamentalmente a la baja velocidad que alcanza la lámina de escurrimiento. Sin embargo, al analizar lo sucedido en la subcuenca de 22 celdas se observa un aumento en la sensibilidad de los parámetros pertenecientes a la EUPS, sucediendo lo contrario con CN y n. Dicho

comportamiento respondería a lo que diversos autores señalan (Glymph, 1951; Roehl, 1962) en cuanto a que los valores del SDR aumentarían al disminuir la superficie de la cuenca y, por lo tanto, al trabajar con la microcuenca de 22 celdas habría una mayor incidencia de los parámetros de la EUPS en la producción de sedimentos respecto a aquellos que controlan la cantidad de agua que sale de la microcuenca (CN y n).

Los análisis de sensibilidad, como el desarrollado en este trabajo, permiten desarrollar estrategias de manejo y conservación de las tierras con impactos positivos en la disminución de las externalidades producidas por el uso de estos sistemas.

Cuadro 1. Variación porcentual en la producción de sedimentos y nutrientes asociados a partir de variaciones porcentuales unitarias de distintos parámetros que intervienen en el modelo.

Parámetros	Rangos de variación porcentual de los parámetros respecto del valor base	Cuenca de 56 celdas con lluvia de 60 mm	Cuenca de 56 celdas con lluvia de 119 mm	Cuenca de 22 celdas con lluvia de 60 mm	Cuenca de 22 celdas con lluvia de 119 mm
Curva Número (CN)	+25% a + 50%	1.469	0.7	1.127	0.632
	0 a + 25%	2.095	0.924	1.431	0.830
	0 a - 25%	-2.989	-1.014	-2.387	-0.881
	- 25% a -50%	-4	-2.707	-4	-2.106
Coeficiente de rugosidad de Manning (n)	+25% a + 50%	-0.408	-0.335	-0.186	-0.185
	0 a + 25%	-0.597	-0.506	-0.264	-0.257
	0 a - 25%	0.947	0.806	0.434	0.412
	-25% a -50%	2.035	1.774	0.878	0.806
Erodabilidad del suelo (K)	+25% a + 50%	0.670	0.746	0.667	0.690
	0 a + 25%	0.587	0.665	0.880	0.918
	0 a - 25%	-0.542	-0.614	-0.814	-0.848
	-25% a -50%	-0.679	-0.786	-1.107	-1.166
Prácticas (P)	0 a - 25%	-0.565	-0.640	-0.848	-0.884
	-25% a - 50%	-0.658	-0.761	-1.076	-1.132
	-50% a - 75%	-0.787	-0.940	-1.469	-1.582

CONCLUSIONES

El análisis realizado pone de manifiesto la importancia de la lluvia (mm) y curva número (CN) como los parámetros más sensibles en la generación de información para la microcuenca en estudio.

Siguiendo el criterio aplicado por Lane y Ferreira (1980), el grado de sensibilidad de los parámetros utilizados por el modelo aplicado a estas microcuencas fue:

Significativo: lluvia caída (mm) y curva número (CN) en las dos microcuencas; índice de rugosidad superficial de Manning (n) en la microcuenca más grande.

Moderado: erodabilidad del suelo (K), uso de la tierra (C) y prácticas (P) en las dos microcuencas; índice de rugosidad superficial de Manning (n) en la microcuenca más chica.

Ligero: longitud y gradiente de las pendientes (L y G) en ambas microcuencas.

Es necesaria una adecuada estimación del valor de CN debido a la sensibilidad de este parámetro, lo que implica la necesidad de generar tablas de conversión ajustadas a las condiciones locales.

LITERATURA CITADA

- Chagas, C.I., O.J. Santanatoglia y E.A. Rienzi. 1993. Análisis del escurrimiento de una microcuenca utilizando distintas metodologías. *Investigación Agraria. Producción y Protección Vegetales* 8: 177-190.
- Finney, V.L. 1991. In agricultural non-point source pollution model. User's guide. USDA, SCS, SCS-ARS Liaison, Morris, Minnesota.
- Glymph, L.M. 1951. Relation of sedimentation to accelerated erosion in the Missouri River Basin. Soil Conservation Service. United States Department of Agriculture, Washington, D.C.
- Haan, C.T., B. Allred, D.E. Storm, G.J. Sabbagh y S.Prabhu. 1995. Statistical procedure for evaluating hydrologic/water quality models. *Transactions of the ASAE* 38(3): 725-733.
- Hall, G.F. y C.G. Olson. 1991. Predicting variability of soils from landscape models. pp. 9-24. In: M.J. Mausbach and L.P. Wilding (ed.). *Spatial variabilities of soils and landforms. SSSA Special Publication no.28. USA.*
- Lane, L.J. y V. A. Ferreira. 1980. Sensitivity analysis. CREAMS. A field scale model for chemicals, runoff and erosion from agricultural management systems. Capítulo 6. pp. 113-157. US. Department of Agriculture. Conservation Research Report No. 26.
- Nofziger, D.L., J.S. Chen y C.T. Haan. 1992. Evaluation of unsaturated vadoze zone models for superfund sites. Unpub. report. Stillwater: Oklahoma State Univ.

- Novotny, V. 1980. Delivery of suspended sediment and pollutants from non-point sources during overland flow. *Water Res. Bull.* 16: 1057-1065.
- Roehl, J.E. 1962. Sediment source areas and delivery ratios influencing morphological factors *Assoc. Hydro. Sci.* 59: 202-213.
- Sanders, J.H., D.D. Southgate y J.G. Lee. 1995. The economics of soil degradation: Technological change and policy alternatives. Technical Monograph No. 22. SMSS.
- Santanatoglia, O.J., C.I. Chagas, E.A. Rienzi, M.G. Castiglioni y R. Sbatella. 1996. Características de los sedimentos producidos por erosión hídrica en una microcuenca del Arroyo del Tala (San Pedro-Pcia. de Bs.As.). *Ciencia del Suelo* 14: 42-46.
- Soil Conservation Service. 1975. Engineering field manual for conservation practices. US. Department of Agriculture.
- Wischmeier, W.H. y D.D. Smith. 1978. Predicting rainfall erosion losses: a guide to conservation planning. *Agric. Handbook No. 537.* Washington DC. US. Department of Agriculture.
- Workman, S.R. y R.W. Skaggs. 1991. Evaluation of the water management model PREFLO. *Transactions of the ASAE* 34(5): 2053-2059.
- Young R.A., C.A. Onstad, D.D. Bosch y W.P. Anderson. 1989. AGNPS: A non point source pollution model for evaluating agricultural watersheds. *J. Soil and Water Cons.* 44: 168-172.

INDICE DE AUTORES
AUTHORS INDEX

379

- Acosta-Gallegos, J.A. 351
Aguilar Santelises, A. 135, 351
Aguilera Gómez, L.I. 289
Alcántar González, G. 135, 143, 205
Amado Alvarez, J.P. 239
Aviles Marín, S. 63
Baca C., G.A. 113, 125, 143, 211
Badillo, V. 351
Becerra Moreno, A. 181
Beltrán Fonseca, M.J. 149
Betancourt Yanez, P. 231
Bugarín M., R. 113, 125
Cadena Hinojosa, M. 317
Camacho Castro, R. 337
Camacho Rodríguez, V. 43
Cardenas E., M. 163, 173
Castellanos, J.Z. 351
Castiglioni, M.G. 371
Cortés Castelán, J.C. 63
Cortés Flores, J.I. 337
Cruz Balcázar, R. 1
Cruz-Flores, G. 55, 63
Chagas, C.I. 371
Christensen, N.B. 163
De León González, F. 303
Díaz Cisneros, H. 337
Escalante Estrada, J.A. 143, 205
Etchevers B., J.D. 79, 135
Figueroa Fuentes, P. 359
Figueroa Sandoval, B. 231
Flores L., H.E. 219
González Barrios, J.L. 309
González Cossio, F. 231
González Ríos, J. 231
González Santiago, C. 359
Gutiérrez Castorena, Ma. del C. 11
Gutiérrez Coronado, M.A. 43, 49
Gutiérrez E., J.A. 33
Hidalgo González, J.C. 143
Job, J.-O. 309
Lee Rodríguez, V. 149
León Martínez, N.S. 71, 359
Lerma Molina, J.N. 149
Licón Trillo, L.P. 149
Lindemann, W.C. 163, 173
López Martínez, J.D. 325, 331
López Tejeda, R. 43
Manske G.G.B. 55
Martínez Garza, A. 113, 317
Martínez H., J. 113, 125
Martínez R., L.M. 195
Massobrio, M.J. 371
Molina Gayosso, E. 55
Morales, M. 189
Moreno Dahme, R. 93
Návar, J. 21
Olalde Portugal, V. 289
Olivares-Sáenz, E. 277
Ordáz Ordáz, E. 259
Ortega Escobar, M. 205
Ortega Sastriquez, F. 189
Ortíz Franco, P. 239
Ortiz M., E. 33
Ortiz Monasterio, I. 55
Ortiz Solorio, C.A. 11
Osuna Ceja, E.S. 293
Otero, L. 189
Padilla Ramírez, J.S. 293
Pájaro Huertas, D. 1
Payán Zelaya, F. 303
Peña-Cabriales, J.J. 351
Pérez Zamora, O. 259
Pérezgrovas Garza, V. 71
Pissani Zúñiga, J.F. 325
Pool Novelo, L. 71, 359
Portilla Cruz, I. 55
Ramírez R., J.M. 195
Ramírez Santoyo, L.F. 205
Rebolledo Robles, H.H. 247
Rivera González, M. 309
Rodríguez-Guillén, A. 351
Rodríguez Mendoza, N. 33, 135
Román Moreno, L.F. 49
Ruíz C., J.A. 219
Ruíz Vega, J. 269
Salazar Salazar, O. 211
Salazar Sosa, E. 163, 173, 331
Sánchez García, P. 33, 143, 205
Sánchez R., S. 303
Sanjuan Ramírez, A. 79
Santanatoglia, O.J. 371
Santizó Rincón, J.A. 135
Silva Palomino, T. 79
Smith, G. 173
Soto Hernández, M. 205
Stoops G., G. 11
Téliz Ortiz, D. 317
Tirado Torres, J.L. 113, 125, 317
Treviño, E. 21
Trinidad Santos, A. 317
Turrent Fernández, A. 1, 93, 337
Valdez-Cepeda, R.D. 277
Velasco Velasco, V.A. 317
Villanueva N., E. 33
Villanueva R., E. 33
Volke Haller, V. 1, 79
Zavala García, F. 325

**REVISORES QUE COLABORARON DURANTE 1998
REVIEWERS**

Acosta Sánchez Raymundo
 Aguilar Santelises Andrés
 Alcántar González Gabriel
 Almaguer Vargas Gustavo
 Alvarez Sánchez Ma. Edna
 Améndola Massiotti Ricardo D.
 Anaya Garduño Manuel
 Arévalo Galarza Gustavo
 Arteaga Ramírez Ramón
 Asteinza Bilbao Gaiska
 Aveldaño Salazar Rodrigo
 Baca Castillo Gustavo A.
 Barois Boular Isabelle
 Becerril Román Alberto E.
 Bravo Lozano Angel G.
 Caballero Mellado Jesús
 Cajuste Bontemps Lenom
 Cajuste Lenom J.
 Campos Cascaredo Adolfo
 Castellanos Ramos Javier Z.
 Coras Merino Pablo M.
 Corlay Chee Langen
 Cortés Flores José I.
 Chávez Morales Jesús
 Cueto Wong José A.
 De León González Fernando
 Dominguez Castillo Esteban
 Echegaray Alemán Alfredo
 Enríquez Reyes Sergio
 Espinosa Victoria David
 Espinoza Hernández Vicente
 Estrada Berg Juan W.
 Etchevers Barra Jorge D.
 Ferrera Cerrato Ronald
 Flores Román David
 Flores Lui Luis Fernando
 Freddy Ortiz Carlos
 Fuentes Ruiz Carlos
 Galvis Spinola Arturo
 García Calderón Norma
 Gavi Reyes Francisco
 Godoy Avila Claudio
 Gutiérrez Castorena Carmen
 Gutiérrez Ruiz Margarita E.
 Hernández Saucedo Francisco R.
 Hernández Vázquez Edgardo
 Inzunza Ibarra Marco Antonio
 Krishnamurthy Reddiar Laksmi
 Kohashi Shibata Josue
 Lagarda Murrieta Angel

Larqué Saavedra Alfonso
 López Alcocer Eduardo
 López Jiménez Alfredo
 Maldonado Torres Ranferi
 Mancilla y Díaz Infante Raúl
 Martínez Garza Angel
 Narro Farías Eduardo
 Núñez Escobar Roberto
 Olalde Portugal Víctor
 Oleschko Lutkova Klaudia
 Ordaz Chaparro Víctor M.
 Oropeza Mota José Luis
 Orozco Chávez Francisco
 Ortega Delgado María Luisa
 Ortiz Olguin Miguel
 Ortiz Solorio Carlos
 Palacios Mayorga Sergio
 Palacios Vélez Enrique
 Palma López David J.
 Palomo Gil Arturo
 Pedroza Sandoval Aurelio
 Peña-Cabriales Juan J.
 Pérez Zamora Octavio
 Pineda Pineda Joel
 Pulido Madrigal Leonardo
 Qüeitsch Kroker Jürgen
 Ramírez Gama Rosa Ma.
 Rey Contreras Jaime A.
 Rivera Díaz Jorge
 Rone Puello José Luis
 Rosas Pérez Irma
 Sánchez Cohen Ignacio
 Sánchez García Prometeo
 Serrano Covarrubias Luis M.
 Siebe Grabach Christina
 Somner Cervantes Irene
 Tah Iuit J. Francisco
 Tijerina Chávez Leonardo
 Tirado Torres Juan Luis
 Trinidad Santos Antonio
 Turrent Fernández Antonio
 Uresti Gil Jesús
 Uvalle Bueno J. Xavier
 Valdez Ramírez María
 Vargas Hernández Mateo
 Vázquez Aguilar Valentín
 Vázquez Alarcon Antonio
 Vergara Sánchez Miguel Angel
 Volke Haller Víctor
 Zavaleta Mejía Emma

NORMAS PARA PUBLICACION EN TERRA

TIPOS DE MANUSCRITOS PARA PUBLICACION

La Revista TERRA acepta trabajos en español, inglés, francés y portugués (los idiomas que se hablan en América), sobre temas relacionados con la ciencia del suelo y el agua. Estos pueden ser artículos científicos, notas de investigación, ensayos o revisiones de literatura, cartas al editor, y reseñas de libros.

Se entiende por artículo científico aquél basado en un trabajo de investigación en que se ha aplicado en forma rigurosa el método científico y se ha estudiado el efecto que tienen diferentes tratamientos sobre la respuesta medible de un sistema, como metodología para comprobar o rechazar una hipótesis claramente establecida como objetivo del trabajo.

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

Los ensayos o revisiones de literatura 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.

La Revista TERRA únicamente acepta colaboraciones de los miembros de la Sociedad Mexicana de la Ciencia 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 o revisiones de literatura 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 deberán entregarse también en un disquete de 3.5" en procesador Word para Windows de la versión más reciente.

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 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 participan éstas 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 éste 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).

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:

Núñez 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 citará en caso de ser primer autor como Brown, L.J. y como L.J. Brown en todos los demás.

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:

Cavazos L., A. 1971. Efecto de la pendiente en la pérdida de suelo por erosión hídrica. Tesis de Maestría. Colegio de Postgraduados, Chapingo, México.

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 dibujarse en tinta china sobre papel albanene o papel dibujo de buena calidad. No deben exceder las dimensiones de una página tamaño carta. La leyenda debe ser con letras y números 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. 1995. Redacción y preparación del artículo científico. Publicación especial 2. Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo A.C. México.

Versión diciembre de 1998.