



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

TERRA

Volumen 11

Enero-Junio de 1993

Número 1

DIVISION I

INDICE

DIVISION II

Levantamiento taxonómico de suelos de la subcuenca de Cuzalapa sierra de Manantlán, Jal.

LUIS M. MARTINEZ R. y
J.J. SANDOVAL L. 3

Variabilidad espacial de la humedad gravimétrica en un suelo del este de Cuba.

ANGEL UTSET SUASTEGUI,
MARIA ELENA RUIZ PEREZ y
JULIAN HERRERA PUEBLA 12

Relación entre características morfológicas y propiedades mecánicas de terrones y cilindros compactados.

F. DE LEON y
J. GUERIF 18

Evaluación de métodos de requerimiento de cal en suelos del estado de México.

JORGE ALVARADO LOPEZ y
LENOM J. CAJUSTE 33

Corrección de clorosis férrica en el cultivo de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.).

MATEO VARGAS H.
y RAUL FLORES M. 43

Estudio preliminar de la precipitación pluvial mensual en el estado de Colima.

OCTAVIO PEREZ ZAMORA 48

Aplicación foliar de fertilizantes y uso de herbicidas en sorgo.

MATEO VARGAS H. 56

Momento oportuno de la aplicación de amonio y nitrato para incrementar la producción de grano de trigo.

MANUEL SANDOVAL VILLA,
GABRIEL ALCANTAR GONZALEZ y
JUAN LUIS TIRADO TORRES 61

Efecto de la irrigación sobre caracteres agronómicos del pimiento morrón con acolchado plástico.

J. LUIS IBARRA y
G. MARQUEZ L. 67

1994 15^o

CONGRESO INTERNACIONAL DE LA
CIENCIA DEL SUELO

EDITORIAL

ARTICULOS CIENTIFICOS

COMISION EDITORA

DR. JORGE D. ETCHEVERS B.,
Editor en jefe
DR. JAVIER Z. CASTELLANOS,
Editor adjunto
DR. ANDRES AGUILAR SANTELISES,
Editor técnico
M.C. ROBERTO QUINTERO LIZAOLA,
Editor técnico
M.C. JORGE ALVARADO LOPEZ,
Editor técnico
SRA. CARELINA C. AALMERS DE AGUILAR,
Editora administrativa

MESA DIRECTIVA 1990-1993

M.C. JORGE L. TOVAR SALINAS,
Presidente
DR. CARLOS HERNANDEZ YAÑEZ,
Vicepresidente
M.C. ROBERTO QUINTERO LIZAOLA,
Secretario General
ING. RUBEN RODRIGUEZ GOMEZ,
Tesorero
M.C. MARIO MONTES HELU,
Secretario Técnico
M.C. MIGUEL OLGUIN ORTIZ,
Secretario de Relaciones Públicas
M.C. ARMANDO LEGASPI GUZMAN,
Secretario de Eventos Nacionales e Internacionales
DR. FERNANDO FLORES LUI,
Vocal
M.C. LEON SALVADOR COVARRUBIAS GARCIA
Vocal

"TERRA", Registro en Trámite. Organó oficial de divulgación de la Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo, A.C.

Volumen 11-1, enero-junio 1993.

ISSN 0187-5779

Los artículos publicados son responsabilidad absoluta de los autores. Se autoriza la reproducción parcial o total del contenido de esta revista, citándola como fuente de información.

Las contribuciones a esta revista deben enviarse, en original y dos copias, redactadas conforme a las Normas para Publicación en la Revista TERRA, al Editor de la Revista TERRA, Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo, A.C. Apartado Postal 45, 56230 Chapingo, Edo. de México, México.

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

Teléfono: (595) 4-22-00, ext. 5237.

División I: Diagnóstico, Metodología y Evaluación del Recurso Suelo

Levantamiento taxonómico de suelos de la subcuena de Cuzalapa sierra de Manantlán, Jal. LUIS M. MARTINEZ R. y J.J. SANDOVAL L. 3

Variabilidad espacial de la humedad gravimétrica en un suelo del este de Cuba. ANGEL UTSET SUASTEGUI, MARIA ELENA RUIZ PEREZ y JULIAN HERRERA PUEBLA. 12

Relación entre características morfológicas y propiedades mecánicas de terrones y cilindros compactados. F. DE LEON y J. GUERIF 18

Evaluación de métodos de requerimiento de cal en suelos del estado de México. JORGE ALVARADO LOPEZ y LENOM J. CAJUSTE. 33

División II: Relación Suelo-Clima-Biota

Corrección de clorosis férrica en el cultivo de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.). MATEO VARGAS H. y RAUL FLORES M. 43

Estudio preliminar de la precipitación pluvial mensual en el estado de Colima. OCTAVIO PEREZ ZAMORA. 48

Aplicación foliar de fertilizantes y uso de herbicidas en sorgo. MATEO VARGAS H. 56

Momento oportuno de la aplicación de amonio y nitrato para incrementar la producción de grano de trigo. MANUEL SANDOVAL VILLA, GABRIEL ALCANTAR GONZALEZ y JUAN LUIS TIRADO TORRES. 61

Efecto de la irrigación sobre caracteres agronómicos del pimiento morrón con acolchado plástico. J. LUIS IBARRA y G. MARQUEZ L. 67

División III: Aprovechamiento del Recurso Suelo

Comparación de procedimientos estadísticos para la selección de métodos químicos de diagnóstico de la fertilidad del suelo. M. EDNA ALVAREZ S. y JORGE D. ETCHEVERS B. 73

La materia orgánica del suelo como función de factores físicos y el uso y manejo del suelo. VICTOR VOLKE HALLER, JORGE FRAUSTO REYES y CESAR MERINO BAZAN. 85

Situación de los micronutrientes en los suelos agrícolas del estado de Tlaxcala. LOURDES CRUZ H. y J.D. ETCHEVERS B. 93

Evaluación de tres variedades criollas de maíz asociadas con frijol en condiciones de temporal en los valles centrales de Oaxaca. MARIO GARCIA SOLORIO y JAIME RUIZ VEGA. 100

Efecto de la maleza en el crecimiento del maíz. MARIO D. AMADOR RAMIREZ. 106

División IV: Educación y Asistencia Técnica

Diagnóstico del servicio de asistencia técnica de la SARH a través de los extensionistas de las áreas maiceras del estado de Zacatecas. GUILLERMO GALINDO GONZALEZ. 115

SCIENTIFIC ARTICLES

EDITORIAL BOARD

DR. JORGE D. ETCHEVERS B.,
 Editor-in-chief
 DR. JAVIER Z. CASTELLANOS ,
 Associate editor
 DR. ANDRES AGUILAR SANTELISES,
 Technical editor
 M.C. ROBERTO QUINTERO LIZAOLA,
 Technical editor
 M.C. JORGE ALVARADO LOPEZ,
 Technical editor
 SRA. CARELINA C. AALMERS DE AGUILAR,
 Managing editor

BOARD OF DIRECTORS 1990-1993

M.C. JORGE L. TOVAR SALINAS,
 President
 DR. CARLOS HERNANDEZ YAÑEZ,
 Vice-President
 M.C. ROBERTO QUINTERO LIZAOLA,
 General-Secretary
 ING. RUBEN RODRIGUEZ GOMEZ,
 Treasurer
 M.C. MARIO MONTES HELU,
 Technical Secretary
 M.C. MIGUEL OLGUIN ORTIZ,
 Secretary for Public Relations
 M.C. ARMANDO LEGASPI GUZMAN,
 Secretary for National and International Events
 DR. FERNANDO FLORES LUI,
 Member
 M.C. LEON SALVADOR COVARRUBIAS GARCIA,
 Member

"TERRA", Registration pending. Official publication
 of the Soil Science Society of Mexico.

Volume 11-1, January-June 1993.

ISSN 0187-5779

The authors take full responsibility for the
 articles published. Partial or total reproduction
 of the content of this journal is authorized, as
 long as this publication is cited as the information
 source.

When submitting articles to this journal, an
 original and two copies must be sent to: Editor de
 la Revista TERRA, Sociedad Mexicana de la Ciencia
 del Suelo, A.C., Apartado Postal 45, 56230 Chapingo,
 Edo. de México, México.

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

Telephone: 52-595-42200, ext. 5237.

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

Soil survey in the Cuzalapa Watershed of
 Sierra de Manantlan, Jal. LUIS M. MARTINEZ R.
 y J.J. SANDOVAL L. 3

Spatial variability of the gravimetric
 moisture content in a soil of eastern Cuba. ANGEL
 UTSET SUASTEGUI, MARIA ELENA RUIZ
 PEREZ y JULIAN HERRERA PUEBLA. 12

Relationship between morphological
 characteristics and mechanical properties of
 clods and compacted soil samples. F. DE LEON
 y J. GUERIF. 18

Evaluation of lime requirement methods on
 soils of Mexico state. JORGE ALVARADO
 LOPEZ y LENOM J. CAJUSTE. 33

Division II: Soil-Climate-Biota Relationship

Iron chlorosis correction in beans (*Phaseolus
 vulgaris*, L.). MATEO VARGAS H. y RAUL
 FLORES M. 43

Rainfall climatic studies in the Colima State.
 OCTAVIO PEREZ ZAMORA. 48

Foliar fertilization and use of herbicides in
 sorghum. MATEO VARGAS H. 56

Opportuneness of ammonium and nitrate
 application to increase grain yield in wheat.
 MANUEL SANDOVAL VILLA, GABRIEL
 ALCANTAR GONZALEZ y JUAN LUIS
 TIRADO TORRES. 61

Irrigation effects on agronomic traits of bell
 pepper grown on plastic mulch. J. LUIS IBARRA
 y G. MARQUEZ L. 67

Division III: Use of the Soil Resource

Comparison of two statistical procedures for
 selecting appropriate chemical soil tests for
 soil fertility evaluation. M. EDNA ALVAREZ and
 JORGE D. ETCHEVERS B. 73

Soil organic matter as function of physical
 factors, and land use system and cropping
 management of soil. VICTOR VOLKE
 HALLER, JORGE FRAUSTO REYES and
 CESAR MERINO BAZAN. 85

Micronutrients in the agricultural soils of
 Tlaxcala, Mexico. LOURDES CRUZ H. y J.D.
 ETCHEVERS B. 93

Evaluation of three native maize varieties
 associated with beans under rainfed conditions in
 the Central Valleys of Oaxaca. MARIO GARCIA
 SOLORIO y JAIME RUIZ VEGA. 100

Weed effects on corn growth. MARIO D.
 AMADOR RAMIREZ. 106

Division IV: Education and Technical Assistance

Evaluation of rural extension services at the
 maize areas of Zacatecas. GUILLERMO GALINDO
 GONZALEZ. 115

EDITORIAL

A través de este editorial invitamos a socios y lectores a meditar sobre el significado de la actividad editorial que realiza la Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo (SMCS) y a su valoración. El objetivo principal de las publicaciones de la SMCS es difundir el trabajo científico y técnico de los especialistas en suelos de México y América.

El mayor esfuerzo editorial de la SMCS es la revista TERRA, órgano oficial de la misma, que ha logrado superar todos los obstáculos para constituirse en el más importante vehículo de la extensión de la Ciencia del Suelo en el país. Los resúmenes ampliados que se publican en la serie Investigación Edafológica en México, y que constituyen las aportaciones de los miembros a los Congresos Nacionales de la SMCS, son la segunda actividad editorial en importancia y una muestra del progreso científico que los socios realizan año con año en lo referente a investigación edafológica. Otras publicaciones de la SMCS son los boletines, de aparición irregular, pero cada vez de mejor calidad, y algunas ediciones especiales, cuyo número esperamos aumentar considerablemente, con el nombramiento como Editor Adjunto de la SMCS del Dr. Javier Castellanos. El Editor Adjunto tendrá como responsabilidad principal preocuparse de esta importante tarea.

Al leer las publicaciones mencionadas salta a la vista la escasez de citas provenientes de las mismas. Ello indicaría que el material editado con tanto costo y esfuerzo, no estaría cumpliendo con la función para la cual fue concebido, sino más bien satisfaciendo necesidades curriculares. Si así fuese estaríamos frente a un hecho de gravedad, que menosprecia el trabajo propio y alimenta a la crítica pertinaz, la cual señala que las publicaciones hechas en México son de inferior calidad a las editadas en el extranjero. La constatación del bajo uso que hacemos de los resultados de nuestra propia ciencia y tecnología obliga a buscar las causas de tal circunstancia.

Creemos oportuno realizar algunos comentarios acerca de los resúmenes ampliados, con el propósito de hacer de ellos una mejor herramienta de difusión de la actividad científica y para que sus contenidos impacten efectivamente en el medio científico, técnico y productivo.

Antes de comenzar debemos reconocer que la transformación de los antiguos resúmenes, con escaso contenido, en resúmenes ampliados, fue de por sí una modificación importante, que contribuyó a mejorar la información que contenían. El solo hecho que numerosas sociedades científicas hubiesen adoptado el modelo introducido por la SMCS demuestra su bondad.

Después de leer detalladamente un gran número de trabajos publicados en los últimos cuatro volúmenes de esta serie, llegué a la conclusión que es necesario hacer un esfuerzo adicional, para mejorar su contenido y presentación.

Cabe preguntarse: ¿Qué es lo que un lector espera obtener de esos resúmenes? Después de consultado un número importante de especialistas hemos llegado a la conclusión que lo que se desea saber es qué es lo que se hizo, por qué se hizo, cómo se hizo y cuáles fueron los resultados más sobresalientes.

Al incorporar Cuadros y Figuras a los resúmenes ampliados, dimos la oportunidad a los autores para que, después de un proceso de meditación, proporcionasen información clave, la más importante, tanto para otros científicos como para tecnólogos y usuarios. El resumir un extenso trabajo en una cuartilla exige dedicación y esmero.

He observado, con frecuencia, que en la Introducción no se justifica, ni se define claramente lo expresado en el título. La selección de éste es extremadamente importante y debe ser congruente con: los objetivos, los métodos experimentales, los resultados y especialmente con las conclusiones. Ante la

inmensa cantidad de información, los lectores tendemos a ser selectivos. Observe usted mismo la manera como lee los trabajos que llegan a sus manos y saque sus propias conclusiones. ¿Qué es lo que usted esperaba encontrar en el artículo y qué fue lo que realmente encontró? Aprenda de las omisiones de los demás.

En los Materiales y Métodos se debe incluir sólo aquella información relevante y de la cual usted presenta resultados. Los métodos descritos tienen que ser consecuentes con los objetivos planteados. Use todas las abreviaturas universalmente aceptadas para ahorrar espacio y defina sus propias abreviaturas (no lo deje a la imaginación del lector). No olvide que sus tratamientos experimentales deben quedar claramente señalados. Estos constituyen el corazón del trabajo.

Una de las omisiones más frecuentes es la clase de suelo con la que se ha trabajado, asunto paradójico tratándose de trabajos en edafología; debemos hacer esfuerzos adicionales para eliminar esta difundida omisión. Otra es la escasez o simplemente la ausencia de información sobre características químicas o físicas de los suelos, relevantes para el trabajo. ¿Cómo interpretar correctamente la naturaleza de la respuesta a un fertilizante cualquiera, si se desconoce la disponibilidad en el suelo de un elemento esencial cuya carencia se desea corregir? Y no basta dar la concentración, sino que es imperioso indicar como se obtuvo. Decir que el suelo tiene 10 ppm de P Bray-1 ó P-Olsen, no quita demasiado espacio y aporta gran información, pero sólo decir que tiene 10 ppm, no sirve de mucho o quizás de nada. El pH en agua o en alguna sal neutra, el porcentaje de materia orgánica y la clase textural, constituyen informaciones mínimas que deben acompañar a la descripción de un suelo experimental.

En los Resultados y Discusión, presente primero lo que prometió en el título y en los objetivos de su trabajo y luego trate de explicar el porqué de éstos y, finalmente, si las diferencias fueron estadísticamente significativas o no. Es común que el informante envíe por delante una parrafada de datos estadísticos sin siquiera haber advertido al lector cuales fueron los resultados obtenidos.

Esto es decepcionante. No es extraño que los resultados no se lleguen a presentar nunca, pero se discute sobre si fueron o no significativamente diferentes. Es necesario un gran esfuerzo de síntesis para mejorar la comunicación en este aspecto. Para ello válgase de los Cuadros y Figuras, que pueden contener una gran cantidad de información, cuando están bien elaborados. Asegúrese de incluir todos los datos necesarios para poder interpretarlos, sin necesidad de recurrir al texto. Es común observar que en Cuadros y Figuras no se identifiquen claramente los tratamientos, que se omiten unidades, que se empleen abreviaturas que están descritas en algún otro lugar del texto y que hacen perder tiempo al lector en su búsqueda. Defina todo lo necesario en el pie de cuadro.

Quiero resaltar que las Conclusiones son probablemente la parte más leída de un resumen ampliado. Es preciso hacer un mayor esfuerzo para resumir aquí lo prometido. No son pocos los autores que omiten esta sección o los que no satisfacen las expectativas prometidas. Haga usted mismo el ejercicio de leer los resúmenes ampliados, los títulos y las conclusiones y vea si se siente satisfecho con lo que aprendió.

En relación con la parte formal de los trabajos, asegúrese que el formato que usted envía tenga las letras suficientemente contrastantes, para que al reproducirlas sean legibles con facilidad. La misma observación vale para las figuras producidas manualmente. Las impresoras de punto (de baja resolución) no son adecuadas para escribir el resumen, si no tiene otra, utilice una cinta en buen estado e imprima el texto con el comando de doble impresión.

Finalmente, llamamos su atención sobre la necesidad de observar estrictamente la ortografía y la redacción. Si bien hay muchos trabajos en que se nota un cuidado especial en este aspecto, hay otros tantos que dejan bastante que desear. Lo invitamos a hacer un esfuerzo mayor durante la preparación del borrador y la versión final, a que revise el escrito antes de enviarlo, a que consulte el diccionario, a dar su resumen a un amigo o colega que sea reconocido por la buena preparación de sus escritos, a que estudie ortogra-

fía y gramática. Estas formalidades son su tarjeta de presentación. Sabemos que usted quiere hacer un buen papel frente a la comunidad y para ello es necesario esmerarse.

Podríamos continuar extensamente con este escrito, sin embargo, el espacio es reducido. Si usted se tomó la molestia de leerlo hasta

aquí, no me cabe la menor duda que quedó lo suficiente motivado como para que la próxima vez que envíe un resumen ampliado o una contribución a **TERRA** ésta sea de calidad. Nosotros nos sentiremos orgullosos por haber contribuido un poco a su mejor preparación profesional.

**SOCIEDAD MEXICANA DE LA CIENCIA DEL
SUELO A.C.****DIVISIONES Y DISCIPLINAS*****División I: Diagnóstico, Metodología y Evaluación
del Recurso Suelo***

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

División II: Relación Suelo-Clima-Biota

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

División III: Aprovechamiento del Recurso Suelo

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

División IV: Educación y Asistencia Técnica

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

LEVANTAMIENTO TAXONÓMICO DE SUELOS DE LA SUBCUENCA DE CUZALAPA SIERRA DE MANANTLAN, JAL.

Soil Survey in the Cuzalapa Watershed of Sierra de Manantlan, Jal.

Luis M. Martínez R. y J.J. Sandoval L.

Instituto Manantlán de Ecología y Conservación de la Biodiversidad
Universidad de Guadalajara, Valentin Velasco # 253, 48740 El Grullo, Jal.

Palabras clave: Suelos, Taxonomía.

Index words: Soil, Taxonomy.

RESUMEN

La Sierra de Manantlán es una importante área montañosa decretada como Reserva de Biósfera por la riqueza de sus recursos naturales. En la subcuenca de Cuzalapa dados sus importantes sistemas de producción agrícola (riego y temporal) y pecuario, así como sus recursos forestales, nos hace indispensable tener un mayor conocimiento de los suelos, así como de sus características fisicoquímicas para determinar con base en estas prácticas, un manejo sostenido del recurso. Para la realización del trabajo se utilizaron fotografías aéreas blanco y negro, escala 1:25,000 y se efectuaron un total de 31 pozos agrológicos, de los cuales 19 se ubicaron en la zona agropecuaria y 12 en la zona forestal o cerril. Se elaboró la descripción del perfil en cada uno de ellos y se tomaron muestras para analizar sus parámetros fisicoquímicos. Se determinó el régimen de humedad y temperatura con base en la información climatológica de la estación ubicada en Cuautitlán a 7 km de distancia. Para la clasificación taxonómica se basó en la Taxonomía de suelos del Soil Survey Staff del

SCS-USDA (1975). Se encontraron tres órdenes de suelo; Entisol, Inceptisol y Molisol, predominando en ese orden de acuerdo con la superficie cubierta y siete subgrupos, Lithic Udorthent, Tipic Udorthent, Lithic Haplumbrepts, Tipic Haplumbrepts, Entic Haplumbrepts, Fluventic Hapludolls y Tipic Udifluvents.

SUMMARY

The Sierra de Manantlan is a mountainous area established as a Biosphere Reserve due to the richness of its natural resources. Cuzalapa is an important watershed for agriculture and cattle breeding, as well as for the forestry resources, which make soil research necessary for its adequate management. Black and white aerophotographs, scale 1:25,000 were used, and 31 soil profiles were described, 19 in the valley zone and 12 in the mountain area. The pedons were described in the field and soil samples analyzed for their physical and chemical parameters. The moisture and temperature regimen were obtained from a climatological station in Cuatitlan, Jalisco, Mexico, 7 km away. The soil classification was based on Soil Taxonomy of Soil Survey Staff-USDA (1975). The orders were Entisols, Inceptisols and Mollisols, and seven subgroups, Lithic Udorthent, Tipic Udorthent, Lithic Haplumbrepts, Tipic Haplumbrepts, Entic Haplumbrepts, Fluventic Hapludolls y Tipic Udifluvents.

Recibido 10-91.

INTRODUCCION

La Sierra de Manantlán pertenece a la provincia fisiográfica Sierra Madre del Sur, entre los estados de Jalisco y Colima, constituida por una topografía irregular, abrupta y con una superficie aproximada de 140,000 ha comprendida entre las regiones hidrológicas de México 15 y 16; forma parte de tres cuencas, río Ayuquila-Armería, río Purificación y río Marabasco, los cuales se subdividen a su vez en 12 subcuencas dentro de la sierra. La Sierra de Manantlán fue instituida por decreto federal como reserva de biosfera por su riqueza biológica, así como por sus recursos físicos.

Cuzalapa, es la subcuenca de mayor superficie dentro de la sierra (191 km²), presenta además la mayor superficie agrícola (riego y temporal), así como pecuaria y el mayor número de pobladores dentro de la Reserva, por lo cual reviste gran importancia desde el punto de vista socioeconómico, como por su riqueza en recursos naturales. La subcuenca, de acuerdo con su curva hipsométrica (Figura 1), se considera como una cuenca en etapa de equilibrio, geológicamente madura, de pie de montaña, con fuerte tendencia a la erosión. Está constituida de aproximadamente un 40% de la superficie en zona de valle y 60% de área montañosa (Martínez y Guevara, 1990).

Dadas las características de la subcuenca, en cuanto a sus geoformas, pendiente, vegetación, precipitación, etc., la susceptibilidad a la degradación tanto física, química y biológica de los suelos es muy variable, por lo que el manejo debe estar dado con base en sus características edafoclimáticas para conservar y manejar en forma adecuada el recurso, sin embargo, para realizar esto, es necesario conocer las características fisicoquímicas del suelo para que nos permita definir estrategias para un uso sostenido del recurso.

MATERIALES Y METODOS

Descripción del Area.

La zona de estudio se ubica al sureste del estado de Jalisco, entre las coordenadas 19°26'40" a 19°36'51" de latitud norte y 104°12'57" a 104°22'49" de longitud oeste, y con un gradiente altitudinal que varía de 550 a 2660 msnm.

Presenta una geología caracterizada por rocas ígneas extrusivas ácidas, representadas por riolitas, andesitas, toba y brecha volcánica (SPP, 1981).

Se presentan dos grupos de climas de acuerdo a Köppen modificado por García (1987); Aw2(w)(i'), clima cálido, con temperatura media anual mayor de 22°C y temperatura del mes más frío mayor de 18°C, con poca oscilación térmica, el más húmedo de los subhúmedos, con porcentaje de lluvia invernal menor de 5. Otra porción de la cuenca presenta las mismas características que el grupo anterior, adicionado con la variante "g", que indica que el mes más caliente se presenta antes del solsticio de verano. El segundo grupo climático es (A)Ca(w2)(w)(i')g, que se manifiesta en una pequeña porción al noreste y en la parte más alta de la cuenca, correspondiente a semicálido de los templados, con temperatura media anual mayor de 18°C y temperatura del mes más frío menor de 18°C, con poca oscilación térmica; el mes más caliente corresponde a mayo; el más húmedo de los subhúmedos, con porcentaje de lluvia invernal menor de 5. La precipitación oscila entre 1500 a 1700 mm anuales (Martínez *et al.*, 1991).

La cuenca presenta la mayor superficie agropecuaria dentro de la reserva, con un total de 2898 ha, de las cuales 635 son de riego, 429 de temporal y 1833 cubiertas por pastizal inducido (Sandoval, 1991).

Metodología.

Para el desarrollo del estudio se utilizaron fotografías aéreas a escala 1:25,000 de 1971 y mapa topográfico escala 1:50,000. Las unidades de fotointerpretación fueron determinadas con base en los parámetros de geomorfología del paisaje, modelo de drenaje, vegetación, tonos fotográficos, etc.

Se realizó un total de 31 pozos agrológicos, de los cuales 19 se ubicaron en la zona agropecuaria y 12 en la zona forestal o cerril. La descripción de los perfiles se hizo con base en metodología propuesta por Cuanalo (1981) y se tomaron muestras de suelo para su análisis en laboratorio. Se determinó su régimen de humedad y temperatura con base en la información climatológica de la estación Cuatitlán ubicada a 7 km de distancia en línea recta. La clasificación taxonómica utilizada

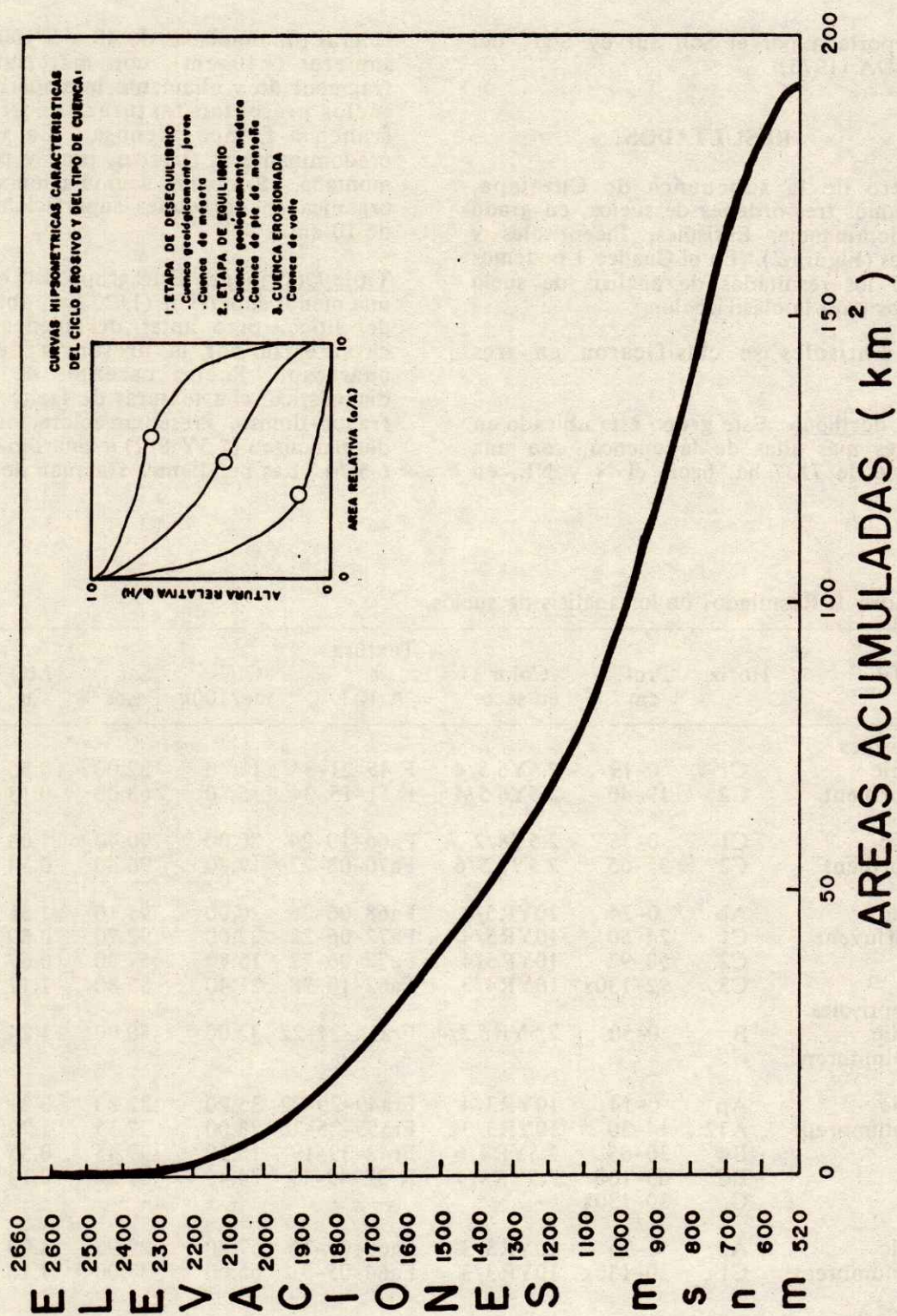


Figura 1. Curva hipsométrica de la subcuenca.

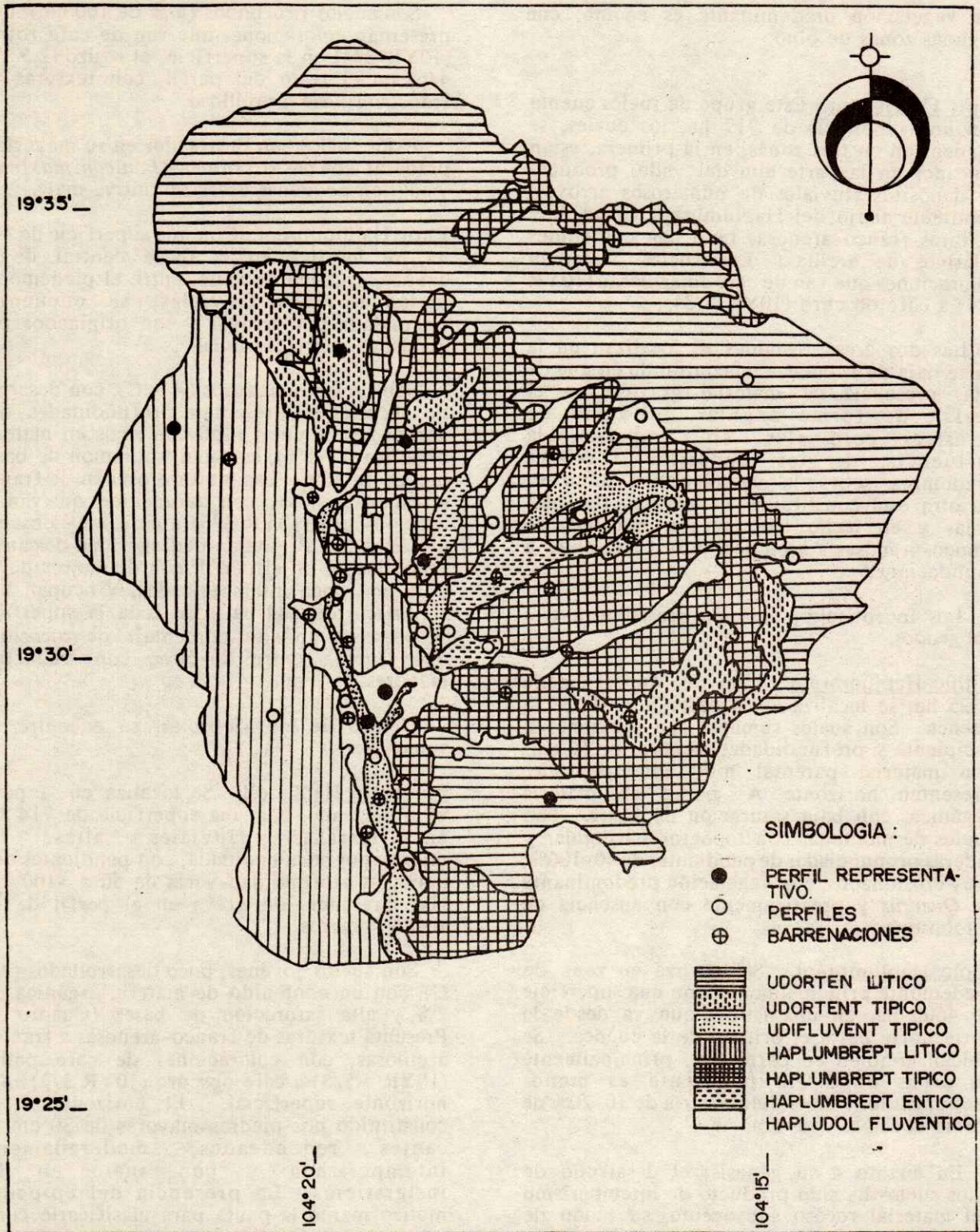


Figura 2. Distribución de suelos en la subcuenca.

La vegetación predominante es encino, con algunas zonas de pino.

Tipic Udifluent. Este grupo de suelos cuenta con una superficie de 717 ha, los cuales, se encuentran en tres zonas, en la primera, están ubicados en la parte alta del valle, producto de depósitos fluviales de numerosos arroyos, pendiente abajo del Haplumbrept típico, con texturas franco-arenosas pero con contenidos relativos de arcilla. Los suelos presentan coloraciones que van de café amarillento (10YR 5/4) a café oscuro (10YR 4/3).

Las dos áreas restantes se localizan en la parte baja de la cuenca, encontrando en una de ellas presencia de material gravoso en el perfil, de forma angular, producto de arrastres coluviales, sin embargo, la influencia de los depósitos fluviales predomina sobre la característica anterior. La otra está constituida en terrazas fluviales bajas y en lecho de río, con texturas de franco-arenosas a arenosas, muy susceptibles a inundaciones.

Los Inceptisoles, también presentaron tres subgrupos:

Lithic Haplumbrept. Con una superficie de 4325 ha, se localiza en la parte S y SE de la cuenca. Son suelos someros con horizonte B incipiente y profundidades menores de 50 cm, con material parental muy intemperizado. Presentan horizonte A, pobre en materia orgánica, con baja saturación de bases. Son suelos de montaña, con topografía irregular y laderas pronunciadas de pendientes de 40-100%, muy erosionados, con vegetación predominante de *Quercus* y prácticamente con ausencia de sotobosque.

Tipic Haplumbrept. Se localiza en zona de piedemonte principalmente, con una superficie de 4600 ha, en una franja que va desde la parte norte hasta el oriente de la cuenca. Se ubican también en parte alta, principalmente en áreas donde la pendiente es menos pronunciada. La pendiente varía de 10-20% de forma cóncava-convexa.

En cuanto a su génesis, el desarrollo de estos suelos ha sido producto de intemperismo del material rocoso subyacente, su modo de formación es *in situ*. Son suelos que presentan el mayor desarrollo dentro de la cuenca, con horizonte A, Bw y C.

Son suelos profundos (más de 100 cm), que presentan coloraciones que van de café rojizo (10YR 3/4) en la superficie, al rojizo (2.5 YR 4/6) en el resto del perfil, con texturas de francoarcilloso a arcilloso.

Estos suelos son destinados en su mayoría a praderas con pasto "Guinea" (*Panicum maximum*) y sólo en pequeñas áreas se cultiva maíz.

Entic Haplumbrept. Con una superficie de 484 ha, se localiza en la parte central de la cuenca, en zona de valle, entre el piedemonte y las terrazas fluviales, se encuentra circundada por arroyos y son originados por depósitos coluvio-aluvial.

Son suelos inmaduros (A y C), con desarrollo incipiente, presentan profundidades que van de los 50 cm a >150 cm, ricos en materia orgánica (5-8%), con una saturación de bases menor de 50%. Las texturas oscilan de franco a franco-arenosas, con coloraciones que van de café oscuro (10YR 3/3) a café muy oscuro (10YR 2/3). Presentan pedregosidad de cantos redondeados en el perfil, con diámetros de 10 a 20 cm, poco intemperizados, y ocupan una superficie de 144 ha. En toda la superficie se presenta un alto porcentaje de rocosidad que fluctúa entre 25-50%, con diámetros mayores de 1 m.

Dentro de los Molisoles, se encontró un subgrupo:

Fluventic Hapludoll. Se localiza en la parte baja del valle, con una superficie de 714 ha, en terrazas fluviales altas, de microtopografía ondulada, con pendientes de 2 a 4%; su profundidad varía de 50 a >100 cm. Hay presencia de grava en el perfil de los suelos someros.

Son suelos jóvenes, poco desarrollados (A y C), con un contenido de materia orgánica del 2% y alta saturación de bases (Cuadro 1). Presenta texturas de franco-arenosas a franco-arcillosas, con coloraciones de café pálido (10YR 5.5/3) a café oscuro (10YR 3/3) en el horizonte superficial. El horizonte C, es constituido por piedras mayores de 30 cm de cantos redondeados, moderadamente intemperizada y con suelo en los intersticios. La presencia del epipedón mólico marcó la pauta para clasificarlo como molisol, aun cuando tiene una fuerte influencia de su formación por depósitos fluviales, por lo cual se dejó ésta a nivel de

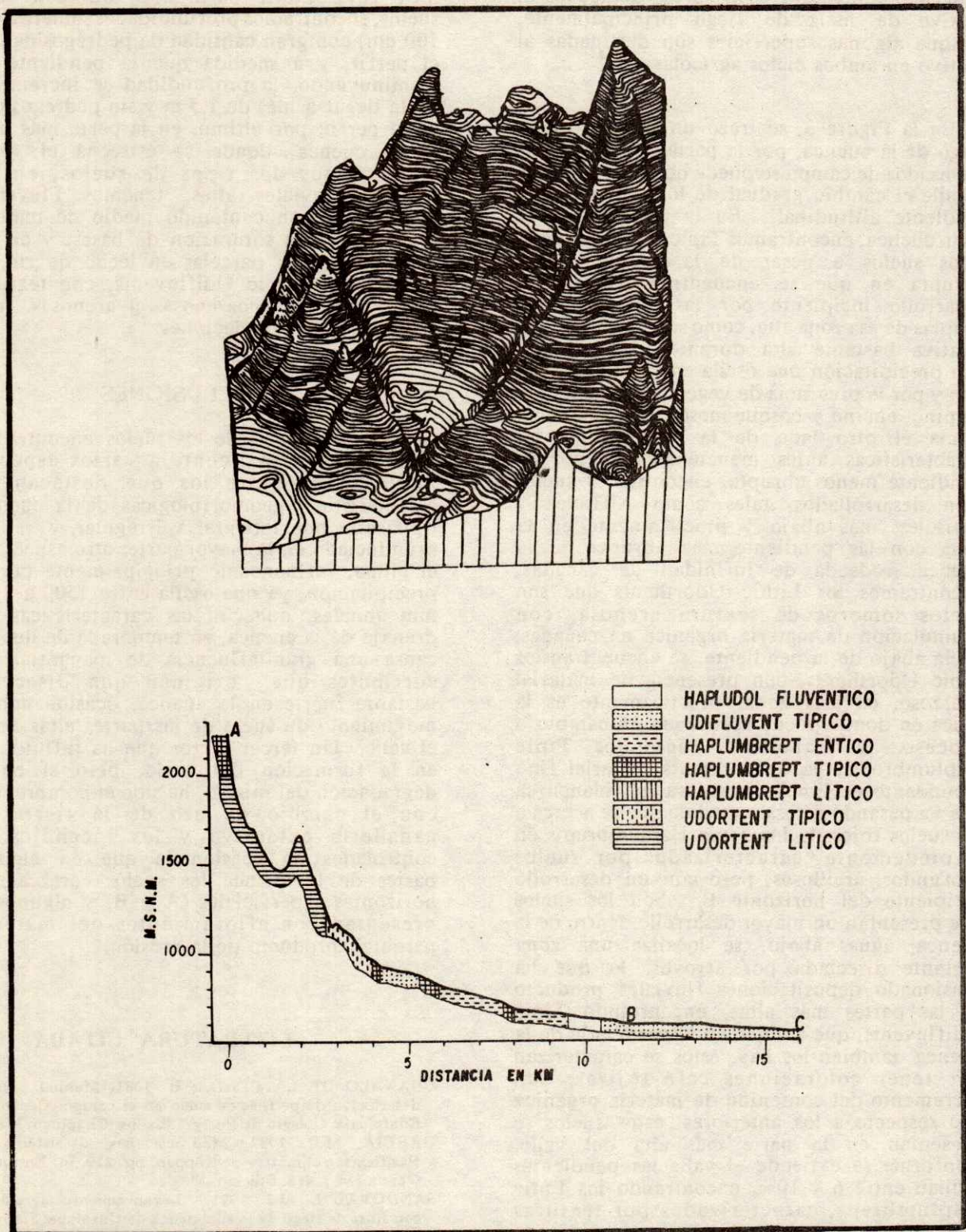


Figura 3. Fisiograma y catena de suelos a través del gradiente altitudinal.

subgrupo integrado. Son suelos dedicados al cultivo de maíz de riego principalmente, aunque algunas superficies son destinadas al cultivo en ambos ciclos agrícolas.

En la Figura 3, se trazó un transecto a lo largo de la cuenca, por la parte en donde, por recorridos de campo se puede observar con más detalle el cambio gradual de los suelos con el gradiente altitudinal. En la parte más alta de la cuenca, encontramos Tipic Haplumbrepts, estos suelos a pesar de la pendiente tan abrupta en que se encuentran, tienen un desarrollo incipiente por las características propias de esa zona alta, como son una humedad relativa bastante alta durante todo el año, una precipitación que oscila entre 1400 a 1500 mm y por la presencia de vegetación abundante de pino, encino y bosque mesófilo de montaña. Hacia el otro lado de la cuenca por las características antes mencionadas y por la pendiente menos abrupta, encontramos suelos bien desarrollados, tales como Alfisoles y Ultisoles; más abajo y prácticamente en la zona con las pendiente más abrupta de la cuenca, rodeada de infinidad de cañadas, encontramos los Lithic Udorthents que son suelos someros de textura arenosa, con acumulación de materia orgánica en cañadas; hacia abajo de la pendiente, se encuentran los Tipic Udorthents, con presencia de material cuarzoso, en esta zona, prácticamente es la única en donde puede apreciarse un cambio o proceso de transición hacia los Tipic Haplumbrepts, ya que presenta material fino (abundante en limo), de coloración blancuzca que va pasando a rosa a medida que se acerca a los suelos rojos de los Tipic Haplumbrepts en el piedemonte, caracterizados por suelos profundos, arcillosos, pero con un desarrollo incipiente del horizonte B. Son los suelos que presentan un mayor desarrollo dentro de la cuenca; aguas abajo, se localiza una zona bastante disectada por arroyos, lo que ha ocasionado depositaciones fluviales producto de las partes más altas, encontrando Tipic Udifluents, que aunque en la parte baja de la cuenca, también los hay, éstos se caracterizan por tener coloraciones café-rojizas, con incremento del contenido de materia orgánica con respecto a los anteriores, estos suelos se presentan en la parte más alta del valle. Conforme se extiende el valle las pendientes oscilan entre 6 y 10%, encontrando los Entic Haplumbrept, caracterizados por texturas francoarenosas, con un alto contenido de materia orgánica (5-8%) y saturación de bases

muy baja. En la parte más alta con estos suelos, encontramos profundidades someras (50-100 cm) con gran cantidad de pedregosidad en el perfil, y a medida que la pendiente va disminuyendo, la profundidad se incrementa hasta llegar a más de 1.5 m y sin pedregosidad en el perfil; por último, en la parte más baja de la cuenca, donde se estrecha el valle, encontramos dos tipos de suelos, en las terrazas fluviales altas, tenemos Fluventic Hapludolls, con contenido medio de materia orgánica y alta saturación de bases, y en las terrazas bajas y parcelas en lecho de río, se localizan los Tipic Udifluents, con texturas que van de francoarenosas a arenosas, muy susceptibles a inundaciones.

CONCLUSIONES

La variabilidad de los suelos encontrados, obedece principalmente a varios aspectos importantes, entre los que destacan las características geomorfológicas de la cuenca, tipificada por topografía irregular y relieve pronunciado en la mayor parte; otro aspecto es el clima, influenciado principalmente por la precipitación, ya que oscila entre 1500 a 1700 mm anuales, que con las características del drenaje de la cuenca, en temporada de lluvias, causa una gran afluencia de manantiales y corrientes que originan una disección bastante fuerte en la cuenca, ocasionando el movimiento de suelo de las partes altas hacia el valle. Un tercer factor que ha influido no en la formación del suelo, pero sí en la degradación del mismo, ha sido el hombre, que con el cambio de uso de la tierra, la ganadería extensiva y los incendios no controlados ha ocasionado que en algunas partes de la cuenca los suelos carezcan de horizontes superficiales (A y B) y algunos se presentan con afloramientos del material parental producto de la erosión.

LITERATURA CITADA

- CUANALO DE LA CERDA, H. 1981. Manual para la descripción de perfiles de suelo en el campo. Centro de Edafología. Colegio de Postgraduados. Chapingo, Méx.
- GARCIA, M.E. 1987. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. pp. 219. In: Enriqueta García (ed.). 4ta. Edición. México.
- SANDOVAL L., J.J. 1991. Levantamiento agrológico con fines de riego de la subcuenca de Cuzalapa, Sierra de Manantlán, Jal. Universidad de Guadalajara. Facultad de Agronomía. (Tesis de Licenciatura). Las Agujas, Jal.

MARTINEZ R., L.M. y R.D. GUEVARA G. 1990. Erosión y escurrimiento de la subcuenca de Cuzalapa, Sierra de Manantlán, Jal. Manejo de Pastizales. Diciembre. 4: 10-16.

MARTINEZ R., L.M., J.J. SANDOVAL L. y R.D. GUERRERO G. 1991. Climas de la reserva de la biosfera Sierra de Manantlán y su área de influencia. Universidad de Guadalajara. Laboratorio Natural Las Joyas. Informe Técnico.

SOIL SURVEY STAFF. 1975. Soil taxonomy. A basic system of soil classification for making and interpretation soil survey. Soil Conservation Service, USDA. Agriculture Handbook No. 436.

SPP. 1981. Síntesis geográfica del Estado de Jalisco. Secretaría de Programación y Presupuesto. 306 p.

VARIABILIDAD ESPACIAL DE LA HUMEDAD GRAVIMETRICA EN UN SUELO DEL ESTE DE CUBA

Spatial Variability of the Gravimetric Moisture Content in a Soil of Eastern Cuba

Angel Utset Suástegui, María Elena Ruiz Pérez y
Julián Herrera Puebla

Departamento de Física, Instituto Superior de Ciencias
Agropecuarias de la Habana (ISCAH), Apartado Postal # 18,
32700 La Habana, Cuba

Instituto de Investigaciones de Riego y Drenaje (IIRD)
Apartado Postal # 6090, 10600 La Habana, Cuba

Palabras clave: Cuba, Humedad de suelo, Variabilidad espacial.

Index words: Cuba, Soil moisture, Spatial variability.

RESUMEN

Se estudió la variabilidad espacial de la humedad gravimétrica en un área experimental de drenaje sobre un Vertisol del este de Cuba. Se realizaron tres transectos de humedad a 30 y 60 cm de profundidad en zonas seleccionadas, calculando los valores medios y coeficientes de variación. La estructura espacial fue determinada a través de autocorrelogramas y semivariogramas. Los resultados indican que en la zona más salina deben escogerse seis muestras de humedad para una desviación de la media menor del 10% y separadas entre sí a 5 m o más para garantizar su independencia.

SUMMARY

The spatial variability of soil moisture content was studied in a Vertisol in east Cuba. Three transects at 30 and 60 cm depth were made in selected zones. The media and variation coefficient were calculated in each case. The spatial structure was determined

through autocorrelograms and semivariograms. In the most saline zone six moisture samples are needed for a medium deviation lower than 10%. The distance inter-samples must be larger than 5 m to assure their independence.

INTRODUCCION

En Cuba existen cerca de un millón de hectáreas de suelos arcillosos y con baja infiltración, localizados fundamentalmente en la región oriental del país. La incorporación de estos suelos a la producción agrícola se ve muchas veces afectada por el exceso de humedad por lo que es necesario utilizar drenaje artificial.

La proyección y construcción de los sistemas de drenaje es una tarea costosa que requiere de estudios lo más exhaustivos posible. Es por eso que se han establecido parcelas experimentales para considerar distintas fórmulas de drenaje.

En todos los experimentos proyectados se debe medir la humedad gravimétrica para concluir cuál es la variante adecuada entre las distintas que se evalúan. El valor más probable o valor esperado de la humedad de una zona o momento determinados se asume igual al promedio de un conjunto de mediciones, sin embargo, éste puede estar más o menos próximo del valor esperado según el número de mediciones y el lugar donde se realizaron.

Recibido 03-92.

La cuestión de cuántas mediciones realizar y en qué lugar hacerlas no es de fácil respuesta. Los estudios previos sobre la variabilidad espacial de las propiedades del suelo (Vauclin, 1982; Warick y Nielsen, 1980; Warrick *et al.*, 1986) indican que estas propiedades no varían en general de forma aleatoria. Si se escogen mediciones muy cercanas entre sí, éstas pueden estar correlacionadas, el valor medio resulta local y no representa a toda el área. De la misma forma, cuando las mediciones están correlacionadas no son válidos los análisis estadísticos simples. El objetivo del presente trabajo es exponer el método seguido en un estudio de la variabilidad espacial de la humedad gravimétrica realizado sobre un Vertisol, explicando cómo determinar el número necesario de muestras y la distancia entre ellas para evaluar la humedad gravimétrica en un área experimental de drenaje.

MATERIALES Y METODOS

De la Estadística clásica es conocido que el número de mediciones o tamaño de la muestra para un error prefijado, o una desviación de la media dada, puede calcularse de:

$$n = \frac{Z_{\alpha}^2 \tau^2}{(x - \mu)^2} \quad (1)$$

donde τ^2 es la varianza, Z_{α} es un estadígrafo para una probabilidad $(1 - \alpha)$ y $(x - \mu)$ es la desviación deseada respecto a la media.

Para conocer la distancia óptima entre mediciones debe calcularse la longitud de correlación, distancia hasta la cual los valores de la propiedad se encuentran correlacionados.

La longitud de correlación puede calcularse del autocorrelograma o del semivariograma de la propiedad pues ambas formas son similares (Warrick *et al.*, 1986).

Para series estacionarias de segundo orden se define la autocorrelación, entre valores separados a una distancia h , a partir de:

$$r(h) = \text{COV} [Z(x), Z(x+h)] / \tau^2 \quad (2)$$

donde: COV es la covarianza entre los valores separados a esa distancia y τ^2 es la varianza.

En caso de existir estructura espacial (Warrick *et al.*, 1986) la autocorrelación disminuye y se aproxima a cero para valores separados a una distancia h_0 . Puede considerarse la longitud de correlación como la distancia a partir de la cual la autocorrelación no es significativamente diferente de cero (Gajem *et al.*, 1981).

Por otra parte la semivarianza, función propia de la Geoestadística, puede calcularse de:

$$s(h) = \frac{1}{2n(h)} \sum_{i=1}^{n(h)} [Z(x_i) - Z(x_{i+h})]^2 \quad (3)$$

donde $Z(x_i)$ es el valor medido en el punto i y $Z(x_{i+h})$ es el valor medido en un punto alejado a una distancia h . La suma se realiza sobre todos los puntos separados a una misma distancia, $n(h)$. La semivarianza aumenta con h hasta una distancia h_0 a partir de la cual se mantiene constante y aproximadamente igual a la varianza. Puede considerarse la longitud de correlación como la distancia a partir de la cual la semivarianza resulta estadísticamente indistinguible de la varianza (Hajrasuliha *et al.*, 1980).

El presente trabajo se desarrolló en la parcela "La Yolanda", área de un proyecto de drenaje del Instituto de Investigaciones de Riego y Drenaje (IIRD) en Holguín. Esta zona pertenece a la Empresa Pecuaria "Calixto García" y está dedicada a pastos desde hace más de 15 años. La parcela escogida ocupa 33 ha dentro de las coordenadas 20 46'N y 76 37'O. El suelo del área, según el mapa 1:25 000, se clasifica como Oscuro Plástico o Vertisuelo de acuerdo con la clasificación genética cubana (Instituto de Suelos, 1979).

Los estudios de suelo realizados previamente (Felippe, 1986) arrojaron que el contenido de arcilla es superior al 50% desde la superficie hasta un metro de profundidad. La conductividad hidráulica, obtenida por el método de la barrena, fue de 0,559 m día⁻¹ y la conductividad eléctrica, medida en solución de 1:5, fue siempre mayor de 4 dS m⁻¹.

Toda la región tiene salinización en mayor o menor grado y un contenido considerable de sodio en el acuífero, este último asciende en primavera situándose a profundidades de entre 0 y 120 centímetros.

En esa parcela, según el proyecto experimental, se instalarán drenes soterrados

con distintos espaciamentos para evaluar su funcionamiento. A pesar de la pequeña extensión de la parcela los análisis del nivel freático resultaron muy variables de un pozo de observación a otro. De ahí la necesidad de realizar un estudio más detallado.

Para el estudio de la variabilidad espacial de la humedad gravimétrica se escogieron tres zonas: baja, media y alta. En esta última existía más vegetación, era menos salina y se podía observar el relieve gilgai, típico de estos suelos. Con esta zonificación se estudiaron las posibles diferencias en el área de acuerdo con la topografía.

En cada una de estas zonas se escogieron aleatoriamente dos pares de puntos y a partir de ellos se trazó una dirección o transecto para analizar a lo largo de la misma la estructura espacial.

Se determinó la humedad gravimétrica a partir de muestras tomadas cada metro y a 30 y 60 cm de profundidad. Cada transecto, con un largo total de 75 m, se hizo en un día; durante tres días consecutivos sin lluvia.

Las características topográficas de la parcela y la posición de cada transecto se muestran en la Figura 1.

Las muestras tomadas a 30 cm de profundidad representan la capa superior o arable y las tomadas a 60 cm a la capa inferior.

En cada uno de los puntos y profundidades seleccionadas se extrajeron cerca de 100 cm³ de suelo, que fueron guardados en pesafiltros, previamente tarados. Para la extracción de la muestra de suelo se utilizaron barrenas estándar que producen agujeros de alrededor de 8 cm de diámetro (Eijkelpamp, 1983). Se determinó la masa húmeda del suelo en los pesafiltros y éstos se mantuvieron cerca de 12 horas en una estufa a 105°C. Posteriormente se determinó la masa del suelo seco. Con esta información se calculó la humedad gravimétrica en porcentaje de peso de suelo seco, utilizando la ecuación:

$$\text{humedad} = \frac{\text{Peso húmedo} - \text{Peso seco}}{\text{Peso seco}} \times 100 \quad (4)$$

En el momento de efectuar nuestro trabajo se había terminado el dren principal situado en el centro del área.

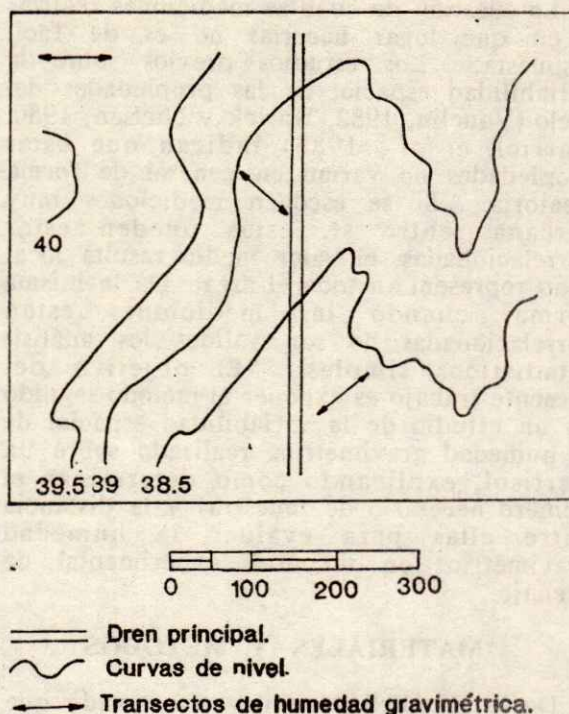


Figura 1. Esquema del área experimental de drenaje de "La Yolanda".

Con los valores de humedad obtenidos en cada transecto y profundidad fueron calculadas la autocorrelación y la semivarianza utilizando el paquete de programas "GEOESTAD" (Utset y Ruiz, 1988).

RESULTADOS Y DISCUSION

A partir de un análisis visual y al tacto se pudo apreciar que en las zonas baja y media, las muestras tomadas a 30 y 60 cm de profundidad no mostraron diferencias notables. En todos los casos el color fue pardo claro, con alta plasticidad y poca estructuración. En la zona alta las muestras a 30 cm eran de color oscuro. A 60 cm eran amarillentas y algo plásticas. La friabilidad de algunas muestras indicaba la presencia de arena.

Los valores medios de humedad, las varianzas y los coeficientes de variación para cada transecto y profundidad se muestran en el Cuadro 1.

Los valores no indican grandes diferencias, exceptuando la zona alta a 30 cm, donde existe notablemente menos humedad.

Cuadro 1. Transectos de humedad medidos sobre un Vertisol en un área experimental de drenaje del Oriente de Cuba.

Zona	Prof. cm	Humedad % pas	Varianza	CV %	LC m
Baja	30	41.26	48.62	16.90	4
	60	41.23	85.29	22.40	2
Media	30	45.21	28.31	11.77	3
	60	41.07	44.98	16.33	2
Alta	30	27.59	7.70	10.06	3
	60	32.79	23.97	14.93	18

Los coeficientes de variación (C.V.) oscilan entre 10 y 22%, similares a los reportados en estudios anteriores (Carrillo y Alvarez, 1988). En la zona baja existen los mayores C.V. mientras que en la zona alta se encuentran los menores, indicando más uniformidad.

Los C.V. son mayores a 60 cm en los tres transectos. Esto pudiera ser ocasionado por la distribución heterogénea de las fisuras que forman este suelo; así habrán regiones más húmedas que otras a la misma profundidad, en dependencia de la distribución de fisuras. La humedad en la superficie se distribuye más homogéneamente pues existe mayor influencia de la evaporación.

En la Figura 2 se muestran los valores de humedad tomados en el transecto de la zona baja a 30 cm de profundidad, graficados en función de su posición en el transecto. Como

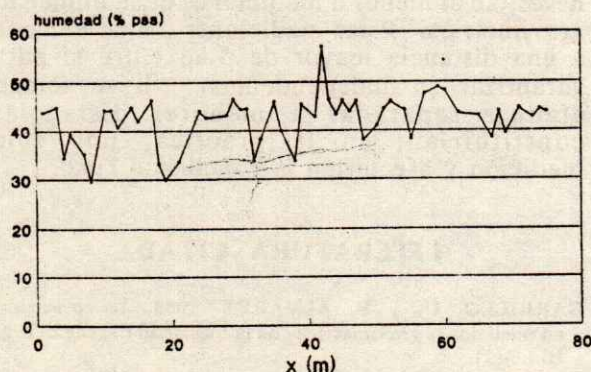


Figura 2. Valores de humedad medidos en el transecto de la zona baja a 30 cm de profundidad.

puede notarse los valores de humedad oscilan alrededor de la media, sin evidenciar una clara tendencia a aumentar ni a disminuir a lo largo del transecto.

En la Figura 3 se muestra el autocorrelograma de la humedad obtenida en el transecto de la zona baja a 30 cm de profundidad, el cual es similar al resto de los autocorrelogramas encontrados. La autocorrelación disminuye a medida que aumenta la distancia de separación para aproximarse a cero alrededor de los 5 m, a partir de esa distancia oscila alrededor de cero.

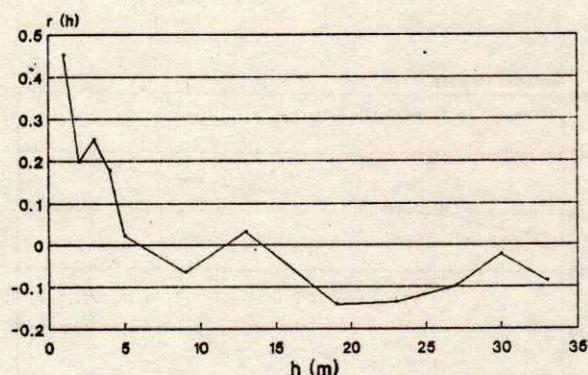


Figura 3. Autocorrelograma de la humedad medida en el transecto de la zona baja a 30 cm de profundidad.

En la Figura 4 se muestra el semivariograma, calculado según GEOESTAD para esos mismos datos. La semivarianza aumenta hasta valores cercanos a la varianza para distancias de separación de alrededor de 5 metros.

En la Figura 4 se ofrece también el semivariograma calculado, para el mismo transecto, a través del paquete GEOEAS; desarrollado por el Departamento de Medio Ambiente de EE.UU. Como puede verse, los semivariogramas calculados por GEOESTAD por GEOEAS son aproximadamente iguales.

Los resultados del autocorrelograma y del semivariograma deben ser similares, como se observa en las Figuras 3 y 4.

En la Figura 5 se muestran los valores de humedad gravimétrica del transecto realizado

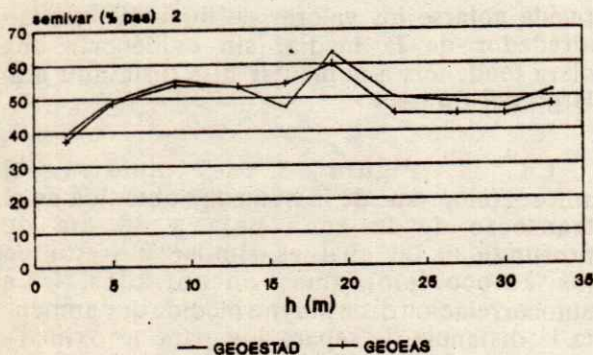


Figura 4. Semivariograma de la humedad medida en el transecto de la zona baja según GEOESTAD Y GEOEAS.

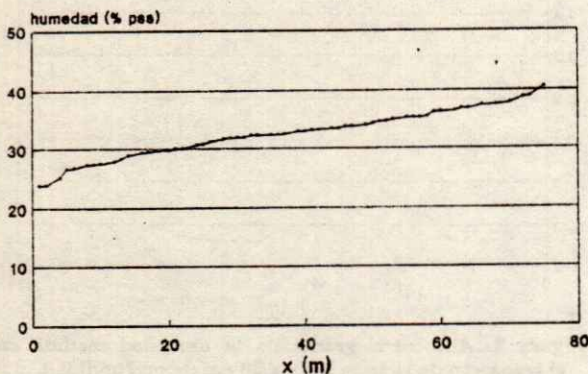


Figura 5. Valores de humedad medidos en el transecto de la zona alta a 60 cm de profundidad.

en la zona alta a 60 cm de profundidad. La humedad aumenta a lo largo del transecto, lo que indica una tendencia en esa zona.

La determinación de la longitud de correlación a partir de un análisis visual del autocorrelograma o del semivariograma está afectada por la escala del gráfico, por lo que se prefiere una determinación analítica.

En el Cuadro 1 se ofrecen las longitudes de correlación (L.C.), calculadas como la primera distancia para la que la autocorrelación no se distingue de cero con un 95% de probabilidad.

En el Cuadro anterior no se observan grandes diferencias entre las longitudes de

correlación de cada zona, excepto en la alta a 60 cm donde tiene un valor muy grande respecto a las demás, indicando la tendencia anotada anteriormente.

Los resultados de la estructura espacial mostrados en las Figuras 3 y 4 y en el Cuadro 1 son similares a los obtenidos por Gajem *et al.* (1981) y Vauclín *et al.* (1982).

Puede notarse que, en general, los valores menores de la longitud de correlación se corresponden con los mayores C.V., lo que implica que mientras más correlacionados están los valores menor es su variabilidad.

CONCLUSIONES

La zona alta se diferencia de las otras dos. La tendencia que existe a 60 cm de profundidad en esa zona impide los análisis estadísticos clásicos. Esta zona no debe ser utilizada para evaluar distintas fórmulas de drenaje, pues los valores de la humedad gravimétrica medidos en distintos puntos dentro de ella no son equiprobables, los valores varían en función de la posición donde se midan.

En las zonas baja y media las longitudes de correlación obtenidas oscilan alrededor de 3 m, podemos considerar, si asumimos la misma variación espacial en todas direcciones, que el área en estas zonas está dividida en bloques de 3 x 3 m donde en cada uno la humedad tiene un valor único, correlacionado con los bloques contiguos e independiente de los demás. Al calcular la media y la varianza promedio en las zonas baja y media y considerando una desviación no mayor del 10% se obtuvo, aplicando la ecuación [1], que se necesitan al menos 6 mediciones de la humedad gravimétrica. Estas mediciones deben tomarse a una distancia mayor de 5 m entre sí para garantizar su independencia. Si se toman algunas separadas a menores distancias constituirían, en la práctica, una sola medición y afectarían la conclusión final.

LITERATURA CITADA

- CARRILLO, U. y P. ALVAREZ. 1988. La precisión en mediciones gravimétricas de la humedad del suelo. Ing. Hid. 9(1).
 EIJKELKAMP. 1983. Soil sampling rings and accessories for sampling. Netherlands.

- FELIPPE, M. 1986. Caracterización del área agrícola con problemas de drenaje y salinidad de la Empresa Pecuaria "Calixto García". Contrato 004-08-20. Etapa 01. Ministerio de la Agricultura IIRD.
- GAJEM, Y.M. A.W. WARRICK y D.E. MYERS. 1981. Spatial dependence of physical properties of a typic Torrifluent soil. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 46: 709-715.
- HAJRASULIHA, S., N. BANIABBASSI, J. MATTHEY y D. NIELSEN. 1980. Spatial variability of soil sampling for salinity studies in southwest Iran. *Irrig. Sci.* 1: 197-208.
- INSTITUTO DE SUELOS. Ministerio de la Agricultura. 1979. Clasificación genética de los suelos de Cuba. Academia de Ciencias. La Habana, Cuba.
- UTSET, A. y M.E. RUIZ. 1988. Un programa para análisis geostadístico de datos de suelo. *CENIC. Ciencias Biológicas* 19(3).
- VAUCLIN, M. 1982. Methodes d'étude de la variabilité spatiale des propriétés d'un sol. En *Variabilité spatiale en processus de transfert dans le sol*. Avignon, Francia 25-79.
- VAUCLIN, M., S.R. VIEIRA, R. BERNARD y J. HATFIELD. 1982. Spatial variability of surface temperature along two transects of a bare soil. *Water Resour. Res.* 18: 1677-1686.
- WARRICK A., W. y D. NIELSEN. 1980. Spatial variability of soil physical properties in the field. pp. 319-34. *In*: D. Hillel (ed.). *Applications of soil physics* Academic Press, New York,
- WARRICK A., W., D.E. MYERS y D. NIELSEN. 1986. Geostatistical methods applied to soil science. pp. 53-81. *In*: *Methods of soil analysis Part I. Physical and mineralogical methods*. Second. ed. Agronomy monograph No. 9, Soil Sci. Soc. of Am., Madison, ,

RELACION ENTRE CARACTERISTICAS MORFOLOGICAS Y PROPIEDADES MECANICAS DE TERRONES Y CILINDROS COMPACTADOS

Relationship Between Morphological Characteristics and Mechanical Properties of Clods and Compacted Soil Samples

F. de León y J. Guérif

Depto. de producción Agrícola y Animal, UAM-X,
Calzada del Hueso No. 1100, Col. Villa Quietud,
04960 México, D.F.

INRA-Avignon, Domaine St. Paul, BP 93, 84143, Monfavet, Francia

Palabras clave: Agregados, Compactación, Índice de vacíos, Morfología, Porosidad estructural, Resistencia mecánica, Terrones, Unidades estructurales.

Index words: Aggregates, Clods, Compaction, Morphology, Structural porosity, Structural units, Tensile strength, Void ratio.

RESUMEN

Se analizan algunas propiedades físicas de una tipología de terrones basada en características morfológicas. Se estudió la resistencia mecánica en dos niveles: el textural (agregados de 2-3 mm), y el global (terrones y cilindros compactados). Se observó que la resistencia a la tracción en el nivel textural representa para los terrones y cilindros el límite superior de resistencia mecánica. Los resultados de la relación morfología-resistencia mecánica coinciden con lo previsto por la tipología: los valores de resistencia mecánica decrecen a medida que disminuye la porosidad estructural. Se discute el efecto de la humedad durante la compactación, del calibre de los agregados con los cuales se crearon los cilindros, y las modalidades de compactación sobre la resistencia mecánica de los cilindros.

Recibido 04-92.

SUMMARY

Some physical properties of a clods typology, based on morphological characteristics, are analyzed. Tensile strength was studied at two levels: (a) the textural level (2-3 mm aggregates), and (b) the overall level, (clods and compacted soil samples). Textural tensile strength was the upper limit of clods and compacted samples tensile strength. The relationship between clods and compacted samples morphology and the tensile strength resulted as it was expected by the typology: the tensile strength values decrease as the structural porosity decreases. It is also discussed the effects of water content during compaction, the aggregates' size used to create compacted samples, and compaction methods upon tensile strength.

INTRODUCCION

La evaluación del efecto de las prácticas de cultivo sobre la estructura del suelo requiere de observaciones sistemáticas del estado físico de los elementos que componen la capa arable. La resistencia mecánica es un criterio importante de la clasificación de terrones (Manichon, 1987), la cual permite estimar ciertos aspectos de sus antecedentes mecánicos (Guérif, 1990) y de prever ciertas

consecuencias como la exploración de raíces y la disponibilidad de agua para la planta (Tardieu y Manichon, 1987). El conocimiento del comportamiento mecánico del suelo sirve para hacer recomendaciones de manejo en los itinerarios técnicos (Campbel, 1976; Hakanson *et al.*, 1985; Manichon, 1987; Papy, 1984).

Trabajos anteriores (Guérif, 1990) han demostrado que el espacio poroso puede ser dividido en dos componentes: (a) el textural, el cual resulta del arreglo de las partículas minerales; se asocia a la porosidad intra-agregados; (b) el estructural, el cual resulta del arreglo de los elementos estructurales (agregados) creados por las prácticas de cultivo y/o la formación natural de fisuras; se asocia a la porosidad inter-agregados (Guérif, 1990).

El espacio poroso puede expresarse como índice de vacíos (relación entre volumen de poros y volumen de la fracción sólida del suelo (Hillel, 1971)). Guérif (1990) expresa este índice como:

$$e_T = e_t + e_s \quad (1)$$

donde: e_T es el índice de vacíos total, e_t es el índice de vacíos texturales y e_s es el índice de vacíos estructurales.

Para un suelo determinado el índice de vacíos texturales varía con el contenido de humedad y no es afectado de manera significativa por la compactación provocada por el paso de la maquinaria agrícola (Guérif, 1990).

En este trabajo se toman en cuenta estos dos niveles (textural y estructural). Se asume que la resistencia textural se debe principalmente al arreglo de las partículas elementales (arena y limo) y al efecto cementante de la arcilla. La resistencia mecánica global de volúmenes de suelo mayores que los agregados de 2-3 mm (terrones, por ejemplo) resulta de la combinación de la resistencia textural y de la resistencia estructural, la cual se debe a los enlaces inter-agregados. Está demostrado que la resistencia estructural es afectada por la compactación (Koolen y Kuipers, 1983).

Los objetivos de la presente investigación son: (a) verificar la estabilidad de la metodología para evaluar la resistencia mecánica de agregados de 2-3 mm (textural) y de los terrones y (b) analizar la relación

entre propiedades mecánicas y la clasificación morfológica de terrones y cilindros compactados, propuesta por Manichon (1987).

MATERIALES Y METODOS

Muestreo de Terrones Naturales.

Los terrones naturales fueron muestreados en parcelas cultivadas y en las calles inter-parcelas del Centro Experimental de Grignon (sitios: Plateau y Chantepie, 25 y 30% de arcilla, respectivamente). Los puntos del muestreo aparecen en la Figura 1. En cada perfil se tomaron bloques de suelo de la zona H5 (Manichon, 1987) que corresponde al horizonte de la capa arable no afectado por las labores de cultivo posteriores al barbecho. Las dimensiones de los bloques fueron: 17.5 cm de frente, 20 cm de profundidad y 10 cm de ancho. Los bloques se numeraron con un sub-índice correspondiente al número del perfil (p. ej. 13-3). Por cada perfil hubo entre 10 y 15 bloques, los cuales se llevaron al laboratorio en donde fueron separados manualmente para formar terrones entre 4 y 6 cm de diámetro. El suelo se dejó secar al aire en laboratorio hasta alcanzar la estabilidad del peso.

La clasificación morfológica se realizó de acuerdo con la tipología propuesta por Manichon (1987) donde la clase delta (de apariencia compactada y continua) representa el principal estado de referencia.

Los terrones de las parcelas fueron muestreados en perfiles escogidos por su riqueza en morfología de terrones. Así, los bloques (13-3, 13-7 y 14-10 de Plateau) provienen de zonas fuera de huellas de rueda de tractor y presentan una amplia gama de morfologías no-delta. Dentro del perfil 15, el bloque 15-12 corresponde a una zona en la cual las huellas de la rueda de tractor no se observaban en superficie pero sí donde los terrones delta fueron dominantes.

La dificultad de acceder en campo al conocimiento de los diferentes estados físicos iniciales y de las modalidades precisas de las compactaciones sucesivas, nos condujo al planteamiento de un estudio experimental de compactación en laboratorio.

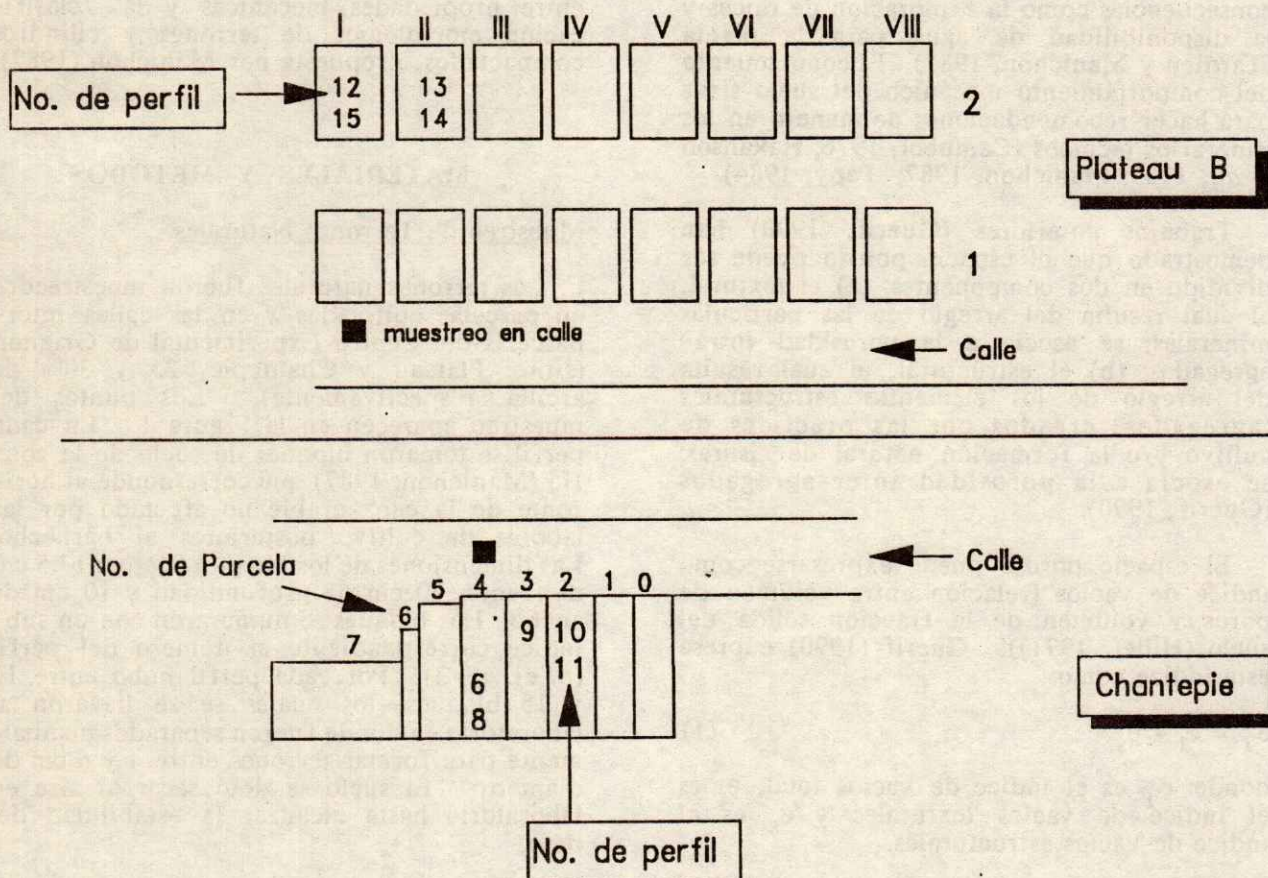


Figura 1. Plano de la ubicación de los perfiles donde fueron obtenidos los bloques de tierra.

Cilindros Compactados.

Los cilindros artificiales (7 cm de diámetro) se crearon con agregados provenientes de terrones del suelo de la textura del sitio de Chantepie. Los terrones secos se fragmentaron mecánicamente para obtener por tamizado diferentes calibres de agregados. Cuatro cilindros se fabricaron con agregados compuestos en 100% por los siguientes calibres: < 2 mm (tierra fina); 1-2; 2-3 mm y 5-10 mm de diámetro. Un cilindro se preparó con una mezcla de los calibres 5-10 (60%) y 1-2 (40%). Los agregados secos de cada calibre fueron humectados en una olla de presión hasta alcanzar el equilibrio de los siguientes potenciales: -10, -20, -50, -100, -300 y -900 kPa.

Se aplicaron tres modalidades de compactación: carga simple sin drenaje, carga

simple con drenaje y cargas cíclicas con drenaje. El dispositivo de compactación ha sido descrito por Guérif (1990).

Se aplicó el análisis del sistema de porosidad para los terrones y cilindros (Guérif, 1990). Las pruebas de ruptura ocurrieron en seco.

Resistencia a la Tracción de Esferas y Cilindros.

Se utilizó una prueba de resistencia mecánica (prueba brasileña descrita por Guérif, 1990), en la cual se somete una muestra a dos cargas diametralmente opuestas. Se mide la fuerza que conduce a la ruptura. La muestra debe ser de una geometría conocida y poseer una simetría (esfera o cilindro). Las cargas generan un campo de fuerzas internas

cuyas resultantes son opuestas, ortogonales a la dirección de las fuerzas externas. La ruptura ocurre en tracción. La prueba se hizo sobre agregados secos.

Los agregados de 2-3 mm son obtenidos mediante fragmentación, tamizado en seco y redondeo mecánico por fricción sobre un disco rotativo abrasivo (Guérif, 1988). Se realizaron de 100 a 150 mediciones de resistencia mecánica.

El secado de los agregados se obtuvo con silicagel hasta alcanzar la estabilidad en peso. La humedad residual se midió después de la ruptura por gravimetría (105°C).

Para los terrones la forma esférica fue obtenida por abrasión manual retirando las asperezas más gruesas con una lima. Con la abrasión se redujo el volumen original de los terrones y se obtuvieron esferas entre 1 y 4 cm de diámetro.

La resistencia a la tracción T (Pa) de esferas está dada por la siguiente ecuación:

$$T = k (4F/d^2)$$

donde: F es la fuerza máxima aplicada a la ruptura (N); d es el diámetro de la esfera (m) y k es un coeficiente de ajuste que depende de los materiales estudiados (suelos, rocas, etc.). Dexter (1975) reduce la ecuación a:

$$T = 0.0576 F/d^2$$

la cual se utilizó tanto para los terrones como para los agregados de 2-3 mm.

La resistencia a la tracción de los cilindros está dada por la expresión:

$$T = 2F/4 dh$$

donde: F es la fuerza máxima a la ruptura; d es el diámetro del cilindro y h es la altura.

Determinación del Índice de Vacíos Estructurales (e_s).

El índice de vacíos estructurales (e_s) se obtiene de (1) por diferencia. e_T y e_t está dado por las siguientes expresiones:

$$e_T = (d_s/d_a) - 1 \quad (2)$$

$$e_t = (d_s/d_{at}) - 1 \quad (3)$$

donde: d_s es la densidad real de la fracción sólida del suelo; d_a es la densidad aparente de terrones o cilindros y d_{at} es la densidad aparente de los agregados de 2-3 mm, considerada como densidad textural.

Sustituyendo (2) y (3) en (1) tenemos:

$$e_s = d_s(1/d_a - 1/d_{at}) \quad (4)$$

d_s fue obtenida mediante el método del picnómetro. Para calcular d_a en terrones, el volumen se determinó con el método de terrones impermeabilizados con parafina y para los cilindros se tomaron las dimensiones de diámetro y altura con un vernier. La d_{at} de agregados de 2-3 mm se determinó mediante el método impregnación con petróleo (Fies y Stengel, 1981).

Morfología de los Terrones.

En la Figura 2 aparecen las clases de terrones. Para los cilindros artificiales no apareció el tipo Z. El tipo Yc consiste en un arreglo más compacto del tipo Y. Todas las observaciones fueron hechas al estado seco después de la prueba de resistencia mecánica ya descrita.

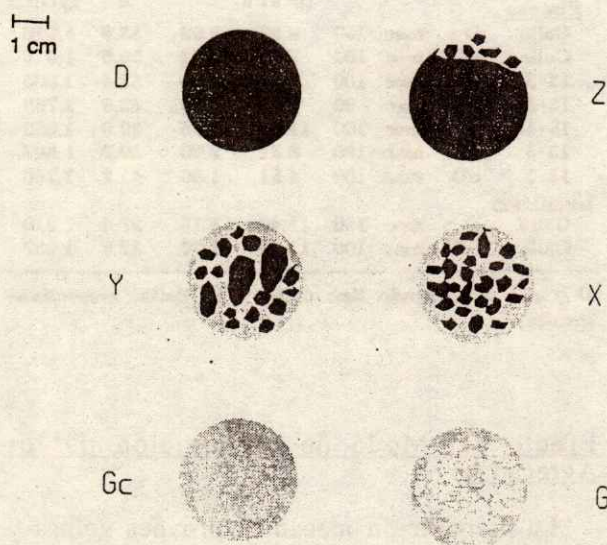


Figura 2. Tipología de estados morfológicos de terrones.

RESULTADOS

Propiedades Mecánicas de los Agregados (a_{T_0} ; Nivel Textural).

Cualquiera que sea el modo de preparación de los agregados o la morfología de los terrones que dieron origen a dichos agregados, la prueba X^2 muestra que la distribución de la resistencia mecánica es normal. El coeficiente de variación es de 30% para los agregados provenientes de terrones delta y puede llegar a 40% para los no-delta (Cuadro 1). Para las dos texturas se encuentran valores compatibles con la regresión que relaciona la resistencia a la tracción y el porcentaje de arcilla (Guérif, 1990).

Al interior de un mismo perfil no hay diferencia significativa (nivel de 10%) entre la resistencia a la tracción textural en función de las morfologías de terrones de origen delta o no delta de los sitios calle/perfil. Solamente el perfil 15 es diferente (Cuadro 1).

Cuadro 1. Resistencias a la tracción textural de diferentes muestras (según sitio, bloque, tipo de terrón de origen y modo de preparación), y densidad aparente de agregados redondeados.

Origen	Tipo ¹⁾	Modo	n	a_{T_0}	D.Est.	C.V.	Den.ap.
				10^2 kPa	%	g/cm ³	
Plateau							
Calle	D	mec	150	8.87	2.98	33.6	1.910
Calle	nD	mec	100	7.97	2.92	36.6	1.918
13-3	D	mec	100	7.71	2.50	32.4	1.803
13-3	nD	mec	89	7.33	3.08	42.0	1.768
15-12	D	mec	100	11.57	3.36	29.0	1.882
13-3	D	man	100	8.41	2.60	30.9	1.807
13-3	nD	man	100	4.51	1.86	41.2	1.786
Chantepie							
Calle	D	mec	150	11.49	3.15	27.4	1.919
Calle	nD	mec	100	11.66	3.79	32.5	1.937

D y nD = agregado tipo delta y no delta, respectivamente.

Efecto del Modo de Preparación de los Agregados.

La preparación mecánica provoca golpes y abrasión, lo cual elimina los agregados de menor resistencia. La preparación manual resultó en agregados de densidad aparente poco

diferente de la de los agregados preparados mecánicamente. La resistencia a la tracción de los agregados obtenidos manualmente a partir de terrones no delta, es particularmente baja para la densidad medida (Cuadro 1). Esto se puede interpretar como una compactación con una carga elevada en condiciones secas, poco favorable a la generación de uniones entre agregados.

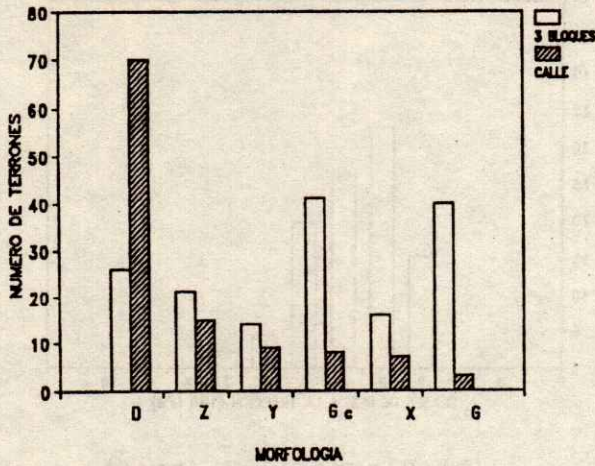
El método de preparación mecánica genera volúmenes casi esféricos de un diámetro comprendido entre 2-3 mm y permite seleccionar los agregados cuya estructura es continua y representativa del ensamblaje de los constituyentes elementales. Su resistencia a la tracción media a_{T_0} establece la media de la gama superior de las resistencias a la tracción posibles, y tiene la ventaja de estimarse fácilmente pues está directamente correlacionada con la textura del suelo (Guérif, 1990).

Influencia de la Morfología de los Terrones sobre la Resistencia a la Tracción Textural.

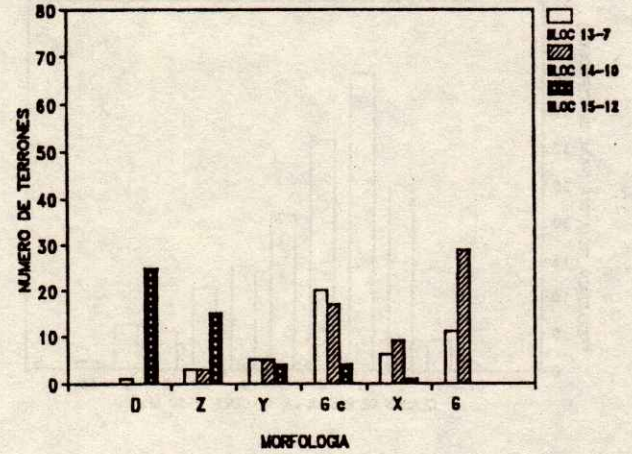
La comparación se hace para las resistencias a la tracción de agregados provenientes de terrones delta y no-delta (Cuadro 2). En los dos casos los agregados fueron redondeados mecánicamente. Al interior de un mismo perfil (bloque 13-3) no se observa diferencia significativa entre las resistencias a la tracción texturales de los agregados provenientes de una u otra morfología; resultados que corroboran sus valores de porosidad de "lagunas" muy parecidos (Cuadro 2). Fiès (1984), en sus trabajos de prosimetría por intrusión de mercurio, define esta porosidad como uno de los componentes de la porosidad textural, los poros de la fracción arcilla son el otro componente. La porosidad de "lagunas" posee diámetros de intrusión cercanos a las dimensiones de las partículas más finas de la fracción limo (> 0.05 micras).

Cuadro 2. Relación entre origen de agregados, resistencia a la tracción textural, densidad aparente y porosidad de "lagunas".

Bloque	Morfo- logía Terrones	a_{T_0}	Densidad aparente	Porosidad de "lagunas"
		10^2 kPa	g/cm ³	
Bloque 13-3	Delta	7.33	1.758	23.0
Bloque 13-3	No Delta	7.71	1.775	23.1
Calle	Delta	8.88	1.913	21.0
Bloque 15-12	Delta	11.57	1.865	19.6



(a) Terrones de Parcelas y Calles



(b) Terrones por bloque

Figura 3. Número de terrones redondeados por clase morfológica y por bloque.

En cambio se constata que los valores de a_{T_0} para los agregados provenientes de terrones delta, difieren poco pero significativamente, de un bloque a otro dentro del sitio Plateau (Cuadro 2).

Dos hipótesis pueden explicar las diferencias observadas. La primera es la variabilidad local de la textura, no detectada con el muestreo de suelo destinado al análisis granulométrico. La segunda es que hay variaciones texturales en la fracción de limo, lo que tendría consecuencias en la organización de los poros intra-agregados y por lo tanto sobre la resistencia a la tracción.

Propiedades Mecánicas de Terrones Naturales (G_{T_0}).

Las distribuciones del número de terrones por clase morfológica se presentan en la Figura 3. Para las clases Y y X los terrones son escasos; en la calle los terrones delta son los más frecuentes. Esta especificidad de los bloques y de las calles en el nivel de morfologías se vuelve a encontrar en las distribuciones de resistencias a la tracción global G_{T_0} de cada muestra (Figura 4).

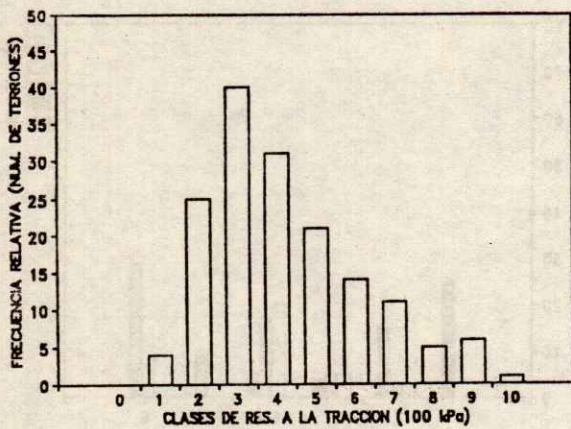
Relación con la Morfología.

Se confirma (Cuadro 3) que las medias de las resistencias a la tracción de cada clase morfológica se ordena en función de la tipología de los terrones y decrece de los terrones delta hacia los gama.

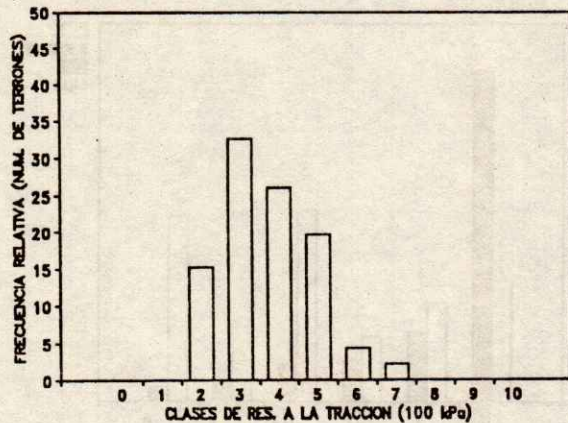
Cuadro 3. Resistencia a la tracción global de terrones redondeados, provenientes de la parcela Plateau.

Morfología(*)	n	Media	Desv.Est.	C.V.
Delta	26	6.79	1.37	20.2
Z	21	4.72	1.21	25.6
Gama(c)	41	3.45	1.20	34.8
Y	14	2.87	0.97	33.8
X	16	2.69	0.66	24.5
Gama	40	2.19	0.90	41.0

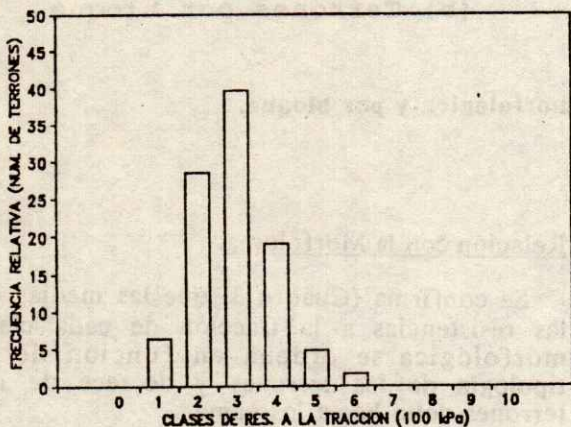
Al colocar las medias (Figura 5) de las resistencias a la tracción global en función de las medias de e_s (índice de vacíos estructurales) por clase morfológica, así como el ajuste exponencial de G_{T_0} en función de e_s para las poblaciones de los terrones de las parcelas y de la calle del sitio Plateau, se constata que a pesar de las diferencias de



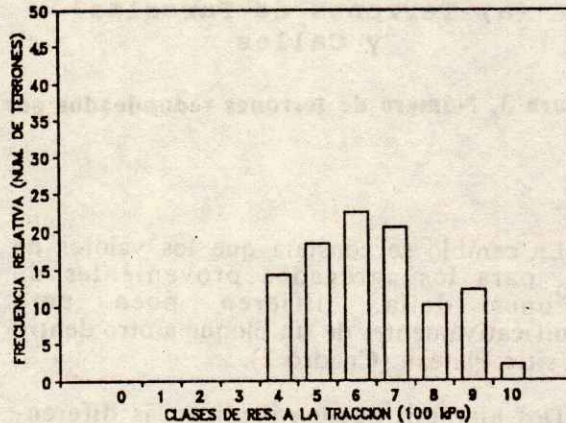
(a) Muestra completa



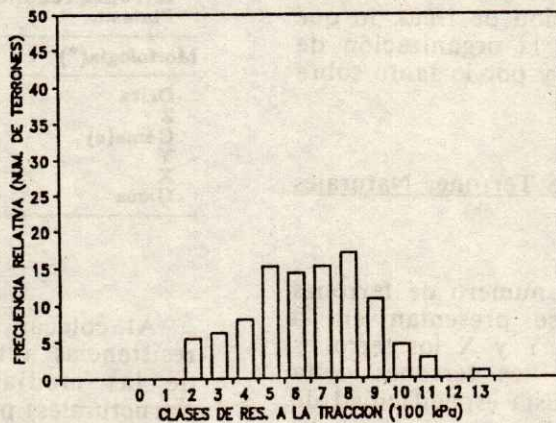
(b) Bloque 13-7 (n=46)



(c) Bloque 14-10 (n=63)



(d) Bloque 15-12 (n=49)



(e) Calle (n=112)

Figura 4. Histogramas de resistencias a la tracción de terrones redondeados en bloques de parcelas cultivadas y de calles interparcelas. Sitio PLATEAU.

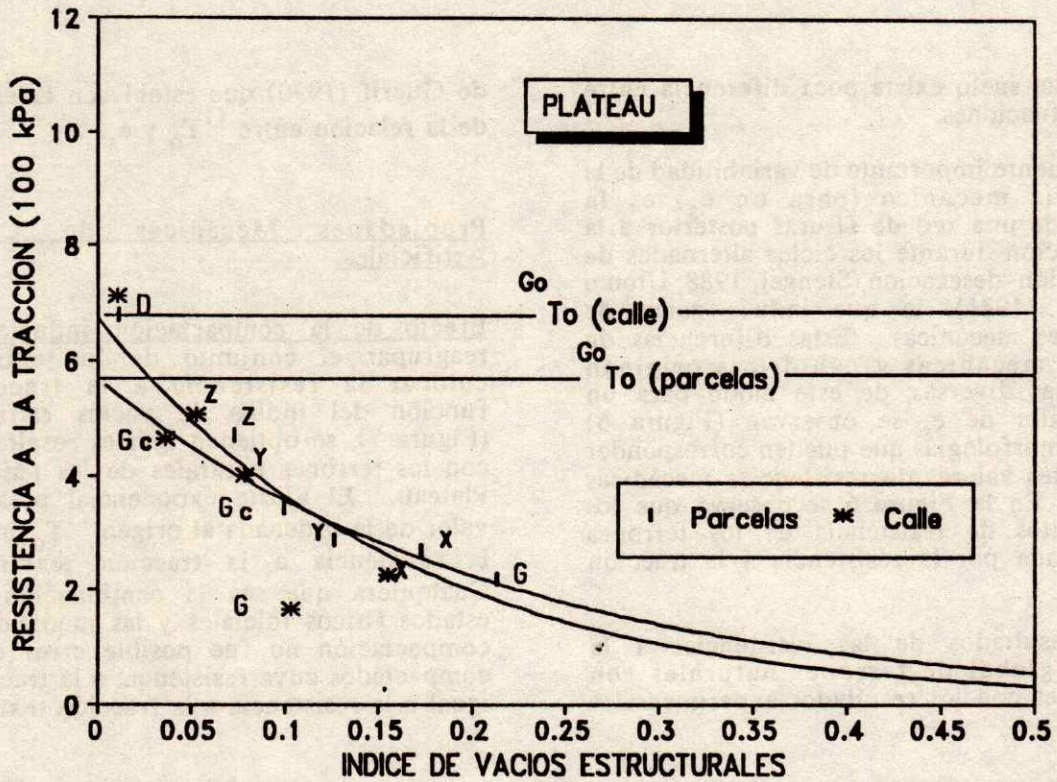


Figura 5. Resistencia a la tracción en función del índice de vacíos estructurales. Medias por clase morfológica.

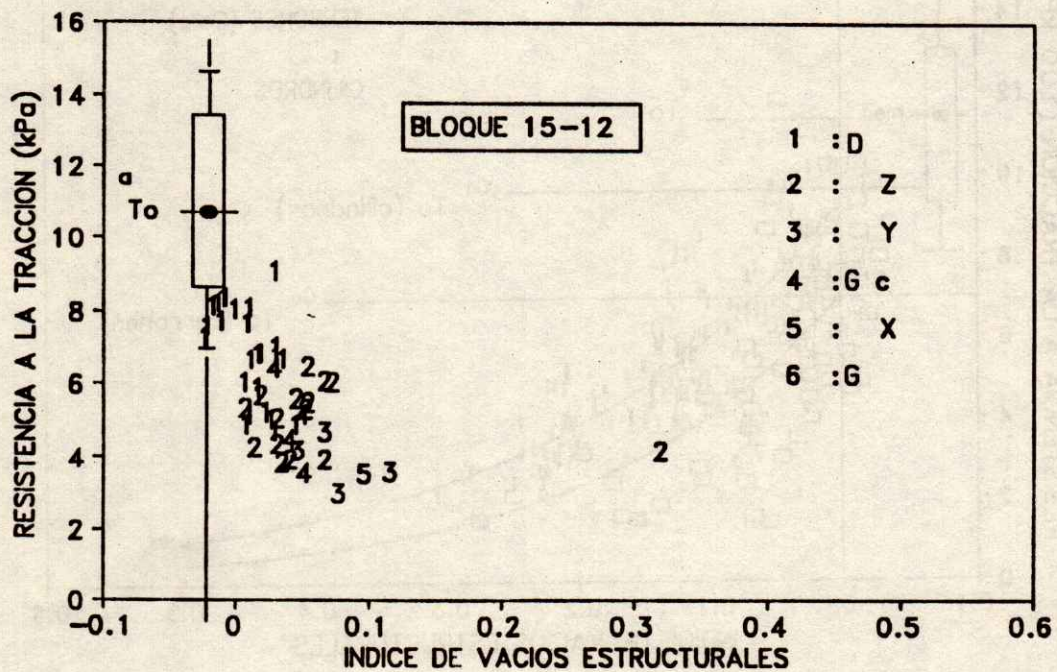


Figura 6. Relación entre resistencia a la tracción global y el nivel de compactación para las morfologías de los terrones del bloque 15-12.

manejo del suelo existe poca diferencia entre las dos situaciones.

Una fuente importante de variabilidad de la resistencia mecánica (para un e_s) es la creación de una red de fisuras posterior a la compactación durante los ciclos alternados de humectación-desección (Stengel, 1988; Utomo y Dexter, 1981), lo que induce zonas de debilidades mecánicas. Estas diferencias de historias mecánicas y/o hídricas originan morfologías diversas; de este modo para un mismo valor de e_s se observan (Figura 6) distintas morfologías que pueden corresponder a diferentes valores de resistencias mecánicas globales. En la Figura 6 se observa que los valores altos de resistencia de los terrones está limitada por la resistencia a la tracción textural.

Los resultados de las resistencias a la tracción global de terrones naturales son compatibles con los resultados experimentales

de Guérif (1990) que establecen la existencia de la relación entre G_{T_0} y e_s .

Propiedades Mecánicas de Cilindros Artificiales.

Efecto de la compactación inducida. Al reagrupar el conjunto de los cilindros y colocar la resistencia a la tracción en función del índice de vacíos estructurales (Figura 7), se obtienen iguales resultados que con los terrones naturales de las parcelas de Plateau. El ajuste exponencial presenta un valor de la ordenada al origen G_{T_0} inferior a la resistencia a la tracción textural a_{T_0} . Cualquiera que sea la combinación de los estados físicos iniciales y las modalidades de compactación no fue posible crear cilindros compactados cuya resistencia a la tracción sea igual a la resistencia a la tracción textural.

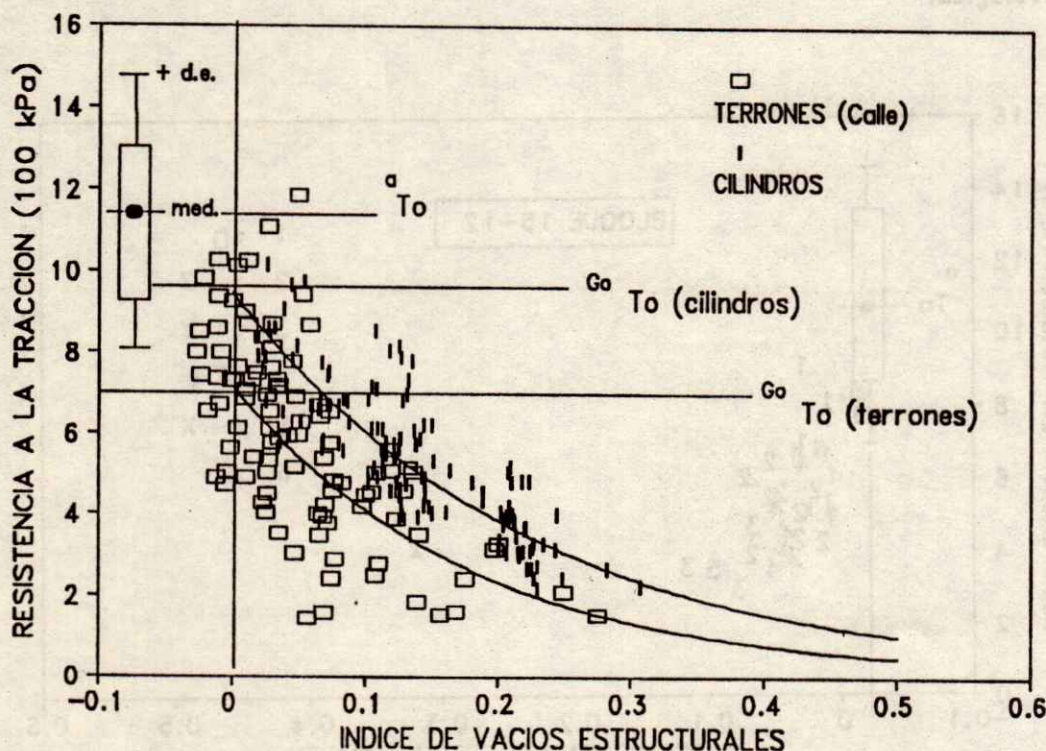
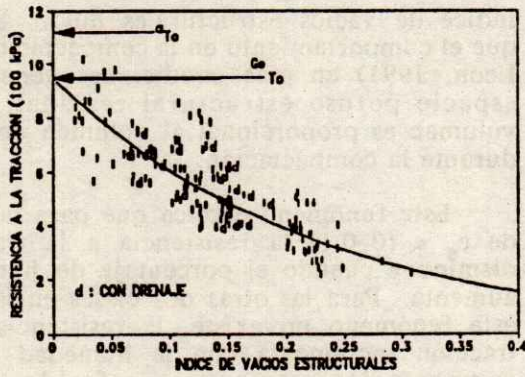
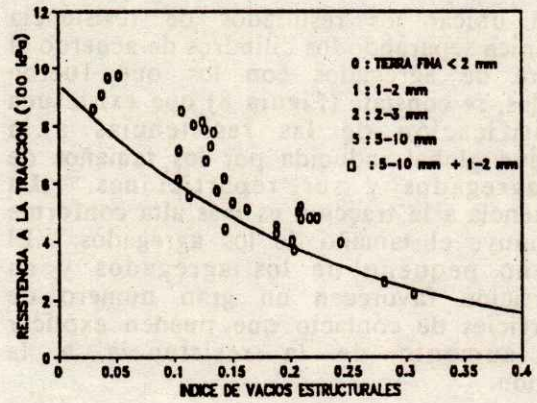


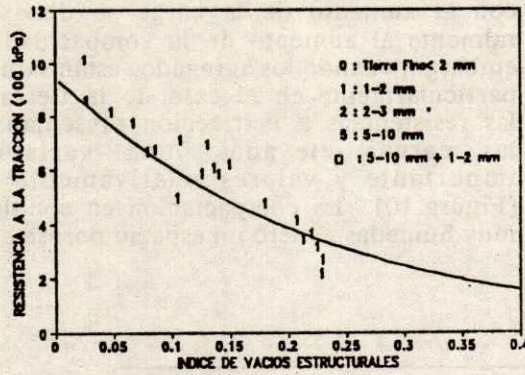
Figura 7. Relación entre la resistencia a la tracción global y el índice de vacíos estructurales de terrones naturales de la calle interparcelas y de los cilindros compactados (sitio Chantepie).



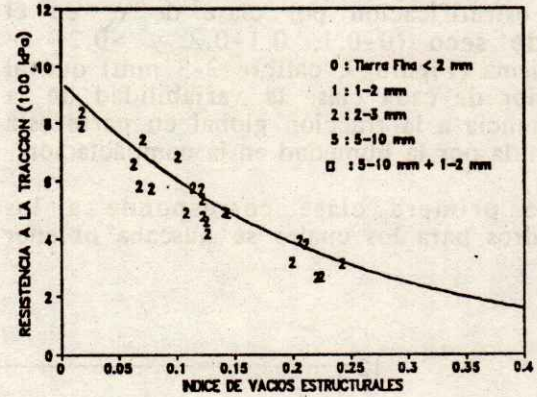
(a) Muestra completa



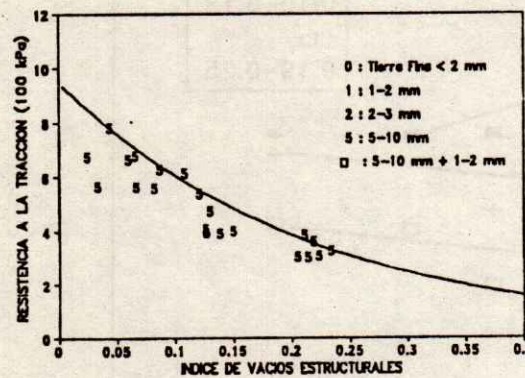
(b) Tierra Fina < 2mm



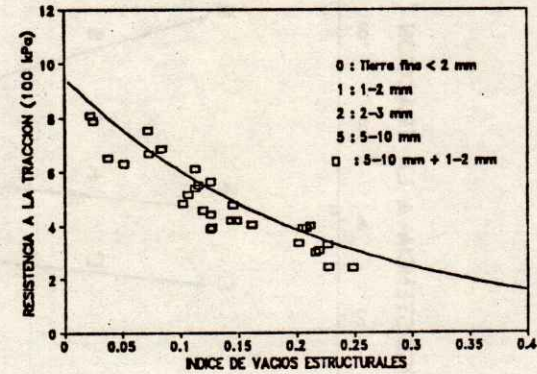
(c) 1-2 mm



(d) 2-3 mm



(e) 5-10 mm



(f) 5-10 + 1-2 mm

Figura 8. Resistencia a la tracción de los cilindros en función de su nivel de compactación de acuerdo con el calibre de agregados.

Al ubicar los resultados de resistencia mecánica separando los cilindros de acuerdo al calibre de agregados con los que fueron creados, se constata (Figura 8) que existe una estratificación de las resistencias a la tracción global inducida por los tamaños de los agregados y sus reparticiones. La resistencia a la tracción es más alta conforme disminuye el tamaño de los agregados. El tamaño pequeño de los agregados y su repartición favorecen un gran número de superficies de contacto que pueden explicar este aumento de la resistencia a la tracción.

Efecto de la Humedad durante la Compactación.

Al efectuar para cada calibre de agregados una estratificación por clase de e_s en el estado seco (0-0.1; 0.1-0.2 y >0.2) se confirma (Figura 9; calibre 2-3 mm) que al interior de cada clase la variabilidad de la resistencia a la tracción global en parte está definida por la humedad en la compactación.

La primera clase corresponde a los cilindros para los cuales se buscaba obtener

índice de vacíos estructurales nulo. Se vio que el comportamiento en la compactación (De León, 1991) en esas condiciones genera un espacio poroso estructural residual, cuyo volumen es proporcional al volumen de agua durante la compactación.

Este fenómeno explica que para la clase de $e_s < (0-0.1)$ la resistencia a la tracción disminuye cuando el porcentaje de humedad aumenta. Para las otras dos clases en las que este fenómeno no existe, la resistencia a la tracción incrementa con la humedad en la compactación como está referido en la literatura (Guérif, 1990).

Efecto de la Presión Aplicada.

El incremento de resistencia a la tracción con el aumento de la carga se debe generalmente al aumento de la compactación. Sin embargo, cuando los agregados están saturados, particularmente en el caso de la tierra fina, las resistencias a la tracción presentan, para las cargas elevadas, una variabilidad importante y valores relativamente bajos (Figura 10). La compactación en condiciones muy húmedas generó un espacio poroso estruc-

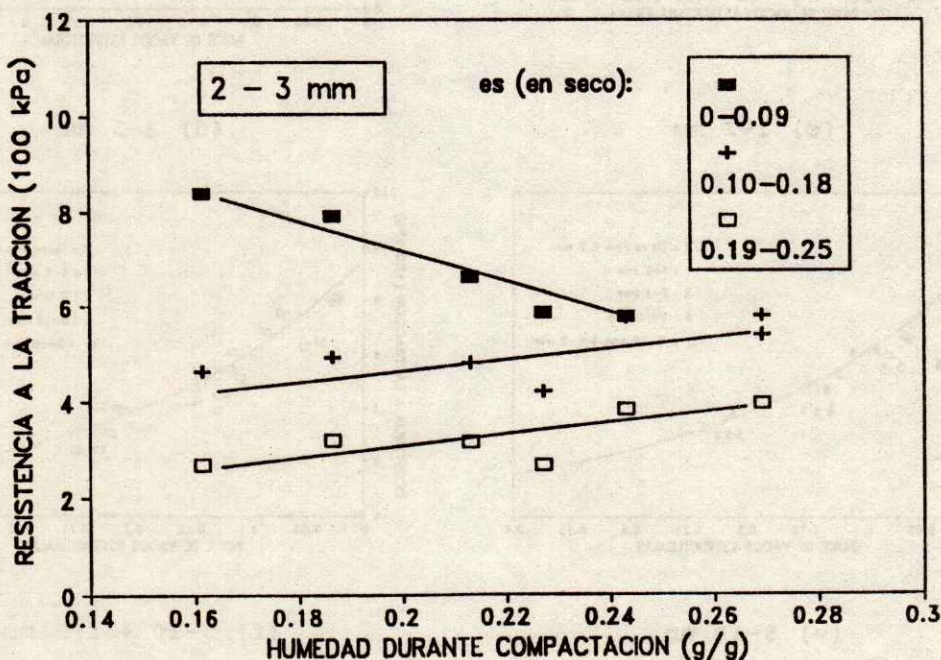


Figura 9. Relación entre la humedad durante la compactación y la resistencia a la tracción de los cilindros clasificados por su nivel de compactación en estado seco. Experimentos sin drenaje.

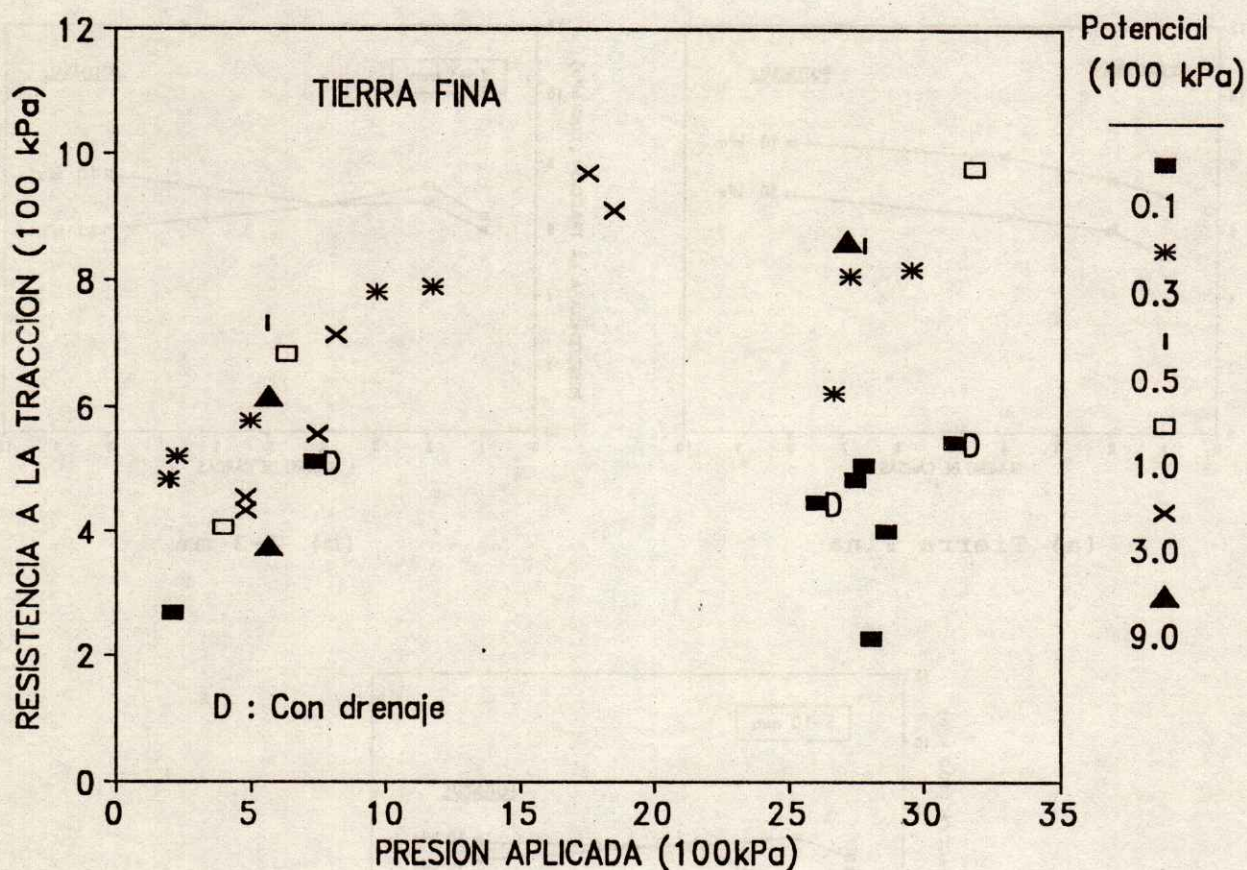


Figura 10. Efecto de la presión aplicada durante la compactación sobre la resistencia a la tracción de los cilindros (D indica experimento con drenaje).

tural residual proporcional a la humedad (De León, 1991) que limita las resistencias a la tracción inducida.

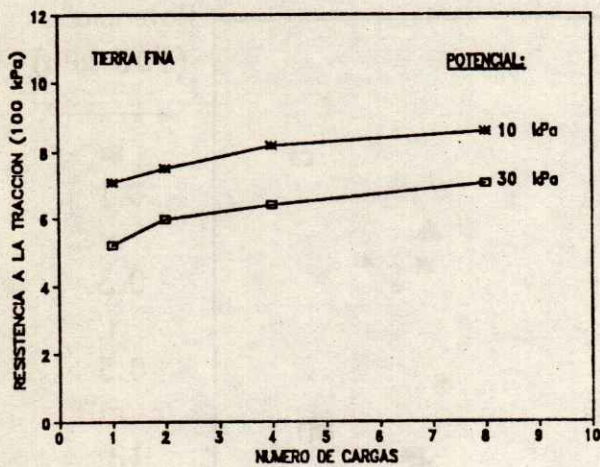
El estudio de las cargas cíclicas se efectuó con la aplicación de una presión de $4 \cdot 10^2$ kPa durante un minuto y la aplicación fue repetida 2, 4 y 8 veces después de un minuto de suspensión de la carga. Se constata (Figura 11) que un aumento de la cantidad de cargas aplicadas de 1 a 8 no provoca un incremento perceptible de la resistencia a la tracción global. Solamente la tierra fina presenta un ligero aumento de la resistencia a la tracción con el incremento de la cantidad de cargas.

Comparación con los Terrones y Relación con la Morfología.

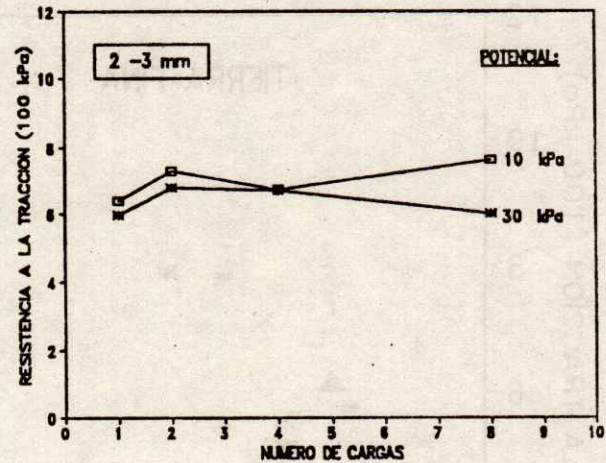
Al graficar las resistencias a la tracción global de los cilindros artificiales y de

los terrones naturales provenientes de la calle en función de sus e_s (Figura 12), se constata lo siguiente: (a) las resistencias de los cilindros compactados son, para e_s equivalentes, en general superiores a los de los terrones de la calle en donde se desconocen las condiciones de compactación y las historias hídricas ulteriores. Las fisuras de los terrones de la calle generados durante las alternancias de humectación-desección pueden explicar esta menor resistencia; (b) cuando los e_s son cercanos a cero, ciertos terrones de la calle presentan resistencias a la tracción próximas de la resistencia a la tracción textural.

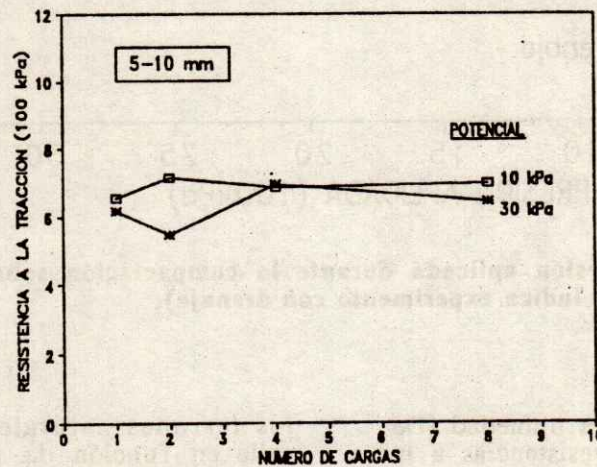
La existencia o no de correspondencia entre las clases morfológicas y los e_s promedios por clase, induce relaciones diferentes entre clases morfológicas y niveles de resistencias a la tracción (Figura 12).



(a) Tierra Fina



(b) 2-3 mm



(c) 5-10 mm

Figura 11. Efecto del número de cargas sobre la resistencia a la tracción de cilindros (estado seco). Tres calibres de agregados.

Si los individuos de los dos subconjuntos (terrones y cilindros), que presentan las mismas características morfológicas y valores de e_s parecidos, presentan niveles medios de resistencias a la tracción diferentes (caso de la clase X), puede deducirse que las diversidades de calidad y/o de repartición espacial de las uniones pueden por sí solas explicar estas diferencias de niveles de resistencia.

Al contrario, si dos subconjuntos que presentan las mismas características morfológicas y niveles de resistencia a la tracción parecidos pero con e_s diferentes (casos Delta, Y, Gama y Gama c), puede deducirse que el volumen del espacio poroso estructural no es ya una variable explicativa satisfactoria de la resistencia a la tracción. La cantidad, distribución espacial y la calidad de las uniones son en parte independientes del volu-

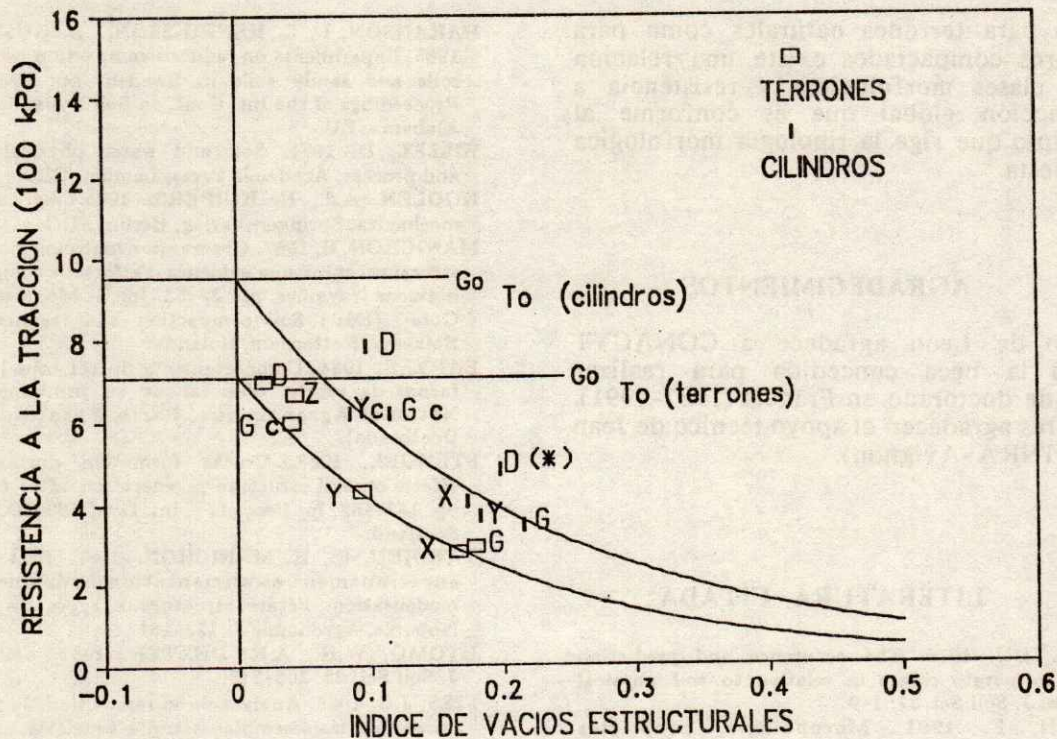


Figura 12. Relación entre índice de vacíos estructurales y resistencia a la tracción de terrones naturales de la calle interparcelas y de cilindros artificiales (con y sin drenaje). D*: son cilindros compactados con tierra fina en condiciones muy húmedas, que combinan una apariencia continua con cavidades y fisuras.

men del espacio poroso estructural y dominan frente a las variaciones de e_s en la determinación de la resistencia a la tracción. Estos resultados indican la necesidad de mayor experimentación sobre estas relaciones.

En cuanto a las implicaciones agronómicas de los resultados presentados podemos decir que la tipología de terrones propuesta por Manichon (1987) y ampliada en el curso del presente trabajo es válida en su utilización en el trabajo de diagnóstico del estado estructural de la capa arable. Los estados delta y gama son las morfologías principales de referencia en cuanto a la porosidad visible y resistencia mecánica de los terrones creados por las prácticas culturales. Sin embargo, los resultados nos indican la necesidad de completar, cuando sea posible, el análisis visual de la porosidad estructural con datos de densidad aparente de agregados y de terrones.

CONCLUSIONES

1. La resistencia a la tracción textural se presenta como un sistema de referencia satisfactorio para juzgar la resistencia mecánica inducida por los diferentes procesos de compactación. Sin embargo, es conveniente que el modo de preparación de los agregados permita seleccionar volúmenes de suelo en donde la intensidad de las uniones entre constituyentes esté determinada por la resistencia mecánica de la fase arcillosa.
2. Incluso las compactaciones intensas (cargas elevadas, compresión con posibilidad de drenaje y cargas sucesivas) de agregados saturados no conducen ni a un índice de vacíos estructurales nulo ni a una resistencia a la tracción global igual a la resistencia a la tracción textural.

3. Tanto para terrones naturales como para cilindros compactados existe una relación entre clases morfológicas y resistencia a la tracción global que es conforme al principio que rige la tipología morfológica propuesta.

AGRADECIMIENTOS

Fernando de León agradece a CONACYT (México) la beca concedida para realizar estudios de doctorado en Francia (1987-1991). Los autores agradecen el apoyo técnico de Jean Royère (INRA-Avignon).

LITERATURA CITADA

- CAMPBELL, D.J. 1976. The occurrence and prediction of clods in potato ridges in relation to soil physical properties. *J. Soil Sci.* 27: 1-9.
- DE LEON, F. 1991. Morphologie, propriétés physiques et conditions de formation des éléments structuraux de la couche labourée. Institut National Agronomique, Paris, Francia. (Tesis de Doctorado).
- DEXTER, 1975. Uniaxial compression of ideal brittle tilths. *J. Terramechanics* 12: 3-14.
- FIES, J.C., P. STENGEL. 1981. Densité texturale des sols naturels. I. Méthode de mesure. *Agronomie* 1: 659-666.
- HAKANSON, I., L. HENRIKSSON, L. GUSTAFSSON. 1985. Experiments on reduced compaction of heavy clay soils and sandy soils in Sweden, pp. 995-1009. In: *Proceedings of the Int. Conf. on Soil Dynamics*, Auburn, Alabama, EU.
- HILLEL, D. 1971. Soil and water physical principles and process. Academic Press, London, GB.
- KOOLEN, A.J., H. KUIPERS. 1983. Agricultural soil mechanics. Springer-Verlag, Berlin, FRG.
- MANICHON, H. 1987. Observation morphologique de l'état structural et mise en évidence d'effets de compactage des horizons travaillés, pp. 39-52. In: G. Monnier, and M.J. Goss (Eds.) *Soil compaction and regeneration*. Ed. Balkema, Rotterdam, Holanda.
- PAPY, F. 1984. Comportements du sol sous l'action des facons de reprise d'un labour au printemps. Institut National Agronomique, Paris, Francia. (Tesis de Doctorado).
- STENGEL, 1988. Cracks formation during swelling: effects on soil structure regeneration after compaction. pp. 147-152. In: *Proc. 11th Int. Conf. ISTRO*, Edimburg, Scotland.
- TARDIEU, F., H. MANICHON. 1987. Etat structural, enraccinement et alimentation hydrique du maïs: modélisation d'états structuraux types de la couche labourée. *Agronomie* 7: 123-131.
- UTOMO, W.H., A.R. DEXTER. 1981. Soil friability. *J. Soil Sci.* 32: 203-213.
- FIES, J.C. 1984. Analyse de la répartition du volume des pores dans les assemblages argile-squelette: comparaison entre un modèle d'espace poral textural et les données fournies par la porosimétrie au mercure. *Agronomie* 4: 891-899.
- GUERIF, J. 1988. Détermination de la résistance en traction des agrégats terreux: revue bibliographique et mise au point technique. *Agronomie* 8: 281-288.
- GUERIF, J. 1990. Factors influencing compaction-induced increases in soil strength. *Soil Tillage Res.* 16: 167-178.

EVALUACION DE METODOS DE REQUERIMIENTO DE CAL EN SUELOS DEL ESTADO DE MEXICO

Evaluation of Lime Requirement Methods on Soils of Mexico State

Jorge Alvarado López y Lenom J. Cajuste

Centro de Edafología, Colegio de Postgraduados,
56230 Montecillo, Méx.

Palabras clave: pH del suelo, Acidez del Suelo, Encalado.

Index words: Soil pH, Soil acidity, Liming.

RESUMEN

Se estimó el requerimiento de cal (RC) de 15 suelos ácidos del estado de México, utilizando los siguientes métodos: incubación (I), titulación (T), Shoemaker-McLean-Pratt simple (SMPS), Shoemaker-McLean-Pratt doble amortiguado (SMPD), Woodruff (W), Finck (F), Adams-Evans (AE) y Keeney-Corey (C).

Los RC se determinaron para tres pH deseados (5.5, 6.0 y 6.5). Se utilizó el método de incubación como referencia para comparar los demás métodos a través del análisis de regresión.

Las pendientes e interceptos de las líneas de regresión mostraron que, para pH 5.5 y 6.0, todos los métodos, excepto SMPD, subestimaron el RC; para pH 6.5 los métodos SMPD y SMPS dieron RC mayores que los obtenidos por el método I, los demás métodos subestimaron el RC.

De todos los métodos evaluados en este estudio, los de F y W pueden ser los más

apropiados para estimar el RC en los suelos estudiados.

SUMMARY

Lime requirements (LR) of 15 acid soils from Mexico State were estimated using the following methods; incubation (I), titration (T), Shoemaker-McLean-Pratt single (SMPS), Shoemaker-McLean-Pratt double buffer (SMPD), Woodruff (W), Finck (F), Adams-Evans (AE) and Keeney-Corey (C).

The LR were estimated to three pH targets (5.5, 6.0, 6.5). The incubation method was utilized as reference method to evaluate the others using regression analysis. Slopes and intercepts of regression lines showed to pH 5.5 and 6.0, all methods, except SMPD, underestimated the LR. At pH 6.5 SMPS and SMPD gave highest LR that incubation method, the other methods underestimated the LR. Of all methods evaluated in this study, the F and W methods would be the more adequate to estimate the LR in the studied soils.

INTRODUCCION

La acidez del suelo es uno de los principales problemas que limitan la producción en algunas regiones del estado de México (Santiago de, 1989). Una forma de atacar este problema es mediante la aplicación de cal al suelo. Dentro de un programa de encalado del suelo, un primer punto a considerar es la cantidad de cal por aplicar.

Recibido 06-92.

La necesidad de cal varía de un suelo a otro, dependiendo de la naturaleza del suelo o bien del cultivo a sembrar, por lo cual ésta debe determinarse para cada suelo en particular. El requerimiento de cal de un suelo ácido se define como la cantidad de cal necesaria para incrementar su pH a un valor deseado (van Lierop, 1990), o como la cantidad de cal necesaria para neutralizar la acidez del suelo hasta una condición de menor acidez favorable para el desarrollo de las plantas (McLean, 1973). Dicho requerimiento es variable para cada suelo, ya que depende de diversos factores como son: grado de intemperismo, contenido de arcilla y materia orgánica, formas de acidez presente, entre otros (McLean, 1982). Lo anterior explica porque no es posible utilizar un mismo criterio para estimar la necesidad de cal en suelos diferentes.

Se cuenta con diversos métodos para estimar la cal necesaria para elevar el pH del suelo a un valor deseado. Algunos son bastante precisos, como el de incubación y el de titulación, sin embargo, requieren de mucho tiempo para su realización, lo cual limita su uso en análisis de rutina. Otros, que utilizan soluciones amortiguadoras, permiten estimar el requerimiento de cal de manera rápida, aunque presentan el inconveniente que no son adecuados para todo tipo de suelo, por lo que para su uso deben calibrarse. El método de Woodruff (1948) proporciona buenos resultados en suelos con bajo requerimiento de cal y subestima la necesidad de ésta en suelos con requerimiento alto. El método SMP simple (Shoemaker *et al.*, 1961) funciona bastante bien en suelos con alto requerimiento de cal, apreciables cantidades de aluminio y bajo contenido de materia orgánica. McLean *et al.* (1977) modificaron el método SMP simple y propusieron el método SMP doble amortiguado, el cual es adecuado para suelos con bajo requerimiento de cal. El método de Adams-Evans (1962) fue diseñado para determinar de manera rápida y exacta el requerimiento de cal de suelos con baja capacidad de intercambio catiónico y bajos contenidos de arcilla tipo 2:1 y materia orgánica. Otros métodos que utilizan soluciones amortiguadoras para estimar el requerimiento de cal son los de Yuan (1974) y Mehlich (1976).

Keeney y Corey (1963) propusieron una ecuación que permite estimar el requerimiento de cal para elevar el pH del suelo a 6.5, a partir del pH y contenido de materia orgánica del suelo. Se considera que mediante este

método se tienen adecuadas estimaciones en suelos donde la materia orgánica es el principal contribuyente del requerimiento de cal, y en los cuales el Al extractable con NH_4OAc pH 4.8 y el contenido de arcilla no contribuyen significativamente al requerimiento de cal.

Algunos autores consideran que el requerimiento de cal debe ser la cantidad de cal que permita neutralizar el aluminio intercambiable (Kamprath, 1970; Reeve y Sumner, 1970). Existen numerosos estudios en los cuales se han comparado métodos para estimar el requerimiento de cal, que muestran en que tipos de suelo funcionan o no dichos métodos (McLean *et al.*, 1966; Webber *et al.*, 1977; Fox, 1980; Tran y van Lierop, 1982; van Lierop, 1983; Edmeades *et al.*, 1985; Alabi *et al.*, 1986).

El presente estudio se realizó con el propósito de comparar algunos métodos para estimar el requerimiento de cal (RC) en suelos ácidos del Estado de México, con los siguientes objetivos específicos: determinar el RC para pH 5.5, 6.0 y 6.5 en suelos ácidos mediante los métodos; titulación (T); SMP simple (SMPS), SMP doble amortiguado (SMPD), Finck (F) y Woodruff (W) y comparar los resultados, a través del análisis de regresión, con los valores de RC obtenidos por incubación con CaCO_3 .

MATERIALES Y METODOS

Se colectaron muestras compuestas de suelo, a una profundidad de 0-20 cm, en 15 sitios de la parte norte del Estado de México que presentan problemas de acidez. Los suelos fueron secados al aire y tamizados con una malla 10 (2 mm).

En laboratorio se estimaron los requerimientos de cal para elevar el pH de los suelos a valores de 5.5 y 6.0 mediante los siguientes métodos; titulación (Goijberg y Aguilar, 1987), SMP simple (van Lierop, 1990), SMP doble amortiguado (McLean *et al.*, 1977), Finck (Finck, 1988) y Woodruff (van Lierop, 1990). Para estimar el requerimiento de cal para elevar el pH del suelo a 6.5, fueron utilizados, además de los métodos anteriores, los métodos de Adams-Evans (1962) y el de Keeney-Corey (1963). En el método de titulación se tomó en cuenta la diferencia entre el pH en agua y en KCl, con el fin de estimar el requerimiento de cal.

Los suelos fueron incubados, a capacidad de campo y temperatura ambiente, durante 45 días con dosis crecientes de CaCO_3 grado reactivo. Las cantidades incluidas fueron 0, 100, 200, 250, 300, 350, 400, 450, 500 y 600 mg $\text{CaCO}_3/100$ g suelo. Al término de la incubación, los suelos fueron secados a temperatura ambiente y se les determinó el pH en agua con una relación suelo-agua 1:2. Se graficó, para cada suelo, el pH contra los niveles de CaCO_3 aplicados, y se obtuvo una curva de regresión. En ésta fueron estimados gráficamente los requerimientos de cal para incrementar el pH de cada suelo a 5.5, 6.0 y 6.5. El método de incubación se utilizó como patrón de referencia para comparar los métodos estudiados. Para la interpretación de resultados se consideró que 1 ha= 2000 t de suelo.

Fueron calculados, mediante el SAS (1979), los coeficientes de correlación lineal simple y las curvas de regresión lineal entre los valores de requerimiento de cal estimados por los distintos métodos estudiados y los obtenidos por incubación.

Se caracterizó a los suelos en cuanto a: pH, en agua y en KCl 1 N, relación 1:2; textura (Bouyoucos, 1951); materia orgánica (Walkley, 1947); Ca, Mg, K y Na (extraídos con NH_4OAc pH 7.0), Ca y Mg fueron determinados por complejometría, y K y Na por flamometría

(Jackson, 1964); Al intercambiable, extraído con KCl 1 N (Barnhisel y Bertsch, 1982) y determinado por titulación (McLean, 1965); capacidad de intercambio catiónico, mediante suma de bases y acidez intercambiable (Aguilar, 1987). El Cuadro 1 muestra algunas de las características de los suelos estudiados; los cuales, en su mayoría, se caracterizan por su baja capacidad de intercambio catiónico y por sus bajos contenidos de materia orgánica, arcilla y aluminio intercambiable.

RESULTADOS Y DISCUSION

Requerimiento de cal para pH 5.5.

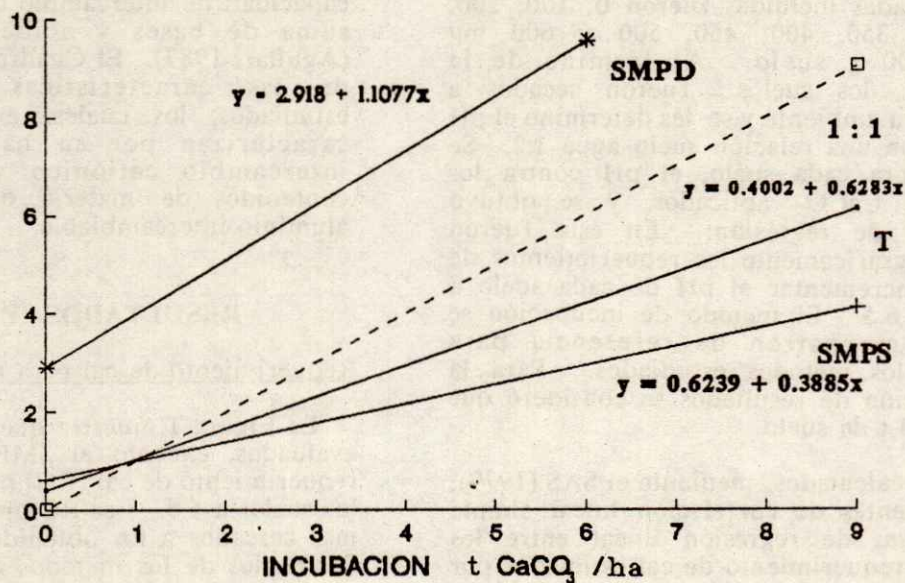
La Figura 1 muestra que todos los métodos evaluados, excepto el SMPD, subestiman el requerimiento de cal (RC) para elevar el pH de los suelos a 5.5. Los RC promedio (Cuadro 2) más cercanos a los obtenidos por incubación fueron los de los métodos de titulación (23% menor) y Finck (26% menor). El método SMPD sobre estimó el RC promedio en 113%. De todos los métodos estudiados, el de Finck presentó el mayor coeficiente de correlación lineal simple ($r = 0.900^{**}$) con el método de referencia (Cuadro 5), mientras que el método SMPD tuvo el coeficiente más bajo ($r = 0.701^*$). Este comportamiento se explica por el hecho de que el método SMPS fue

Cuadro 1. Algunas características de los suelos estudiados.

Suelo	pH (1:2)		CIC cmol(+)/kg	Al	M.O. -	Arc. %	Clasificación (SPP,1981)
	H_2O	KCl					
Cuendo 1 a	5.1	4.3	10.3	0.31	1.5	20.0	Feozem lúvico
Cuendo 2 a	4.3	3.7	13.6	1.32	2.3	18.0	Feozem lúvico
Cuendo 3 a	4.2	3.6	8.0	1.47	2.2	15.3	Feozem lúvico
Atlacomulco a	5.8	4.8	15.2	0.22	1.7	26.0	Planosol mólico
Acambay 1 b	4.6	3.8	13.4	0.43	1.4	30.0	Feozem háplico
Santa Rosa Gpe. c	5.0	3.8	14.2	0.38	2.5	26.0	Acrisol órtico
San Nicolás 1 c	4.7	3.9	9.6	0.35	2.3	26.0	Planosol mólico
San Nicolás 2 c	6.0	5.0	19.2	0.18	1.7	26.0	Planosol mólico
San Nicolás 3 c	6.0	4.8	14.5	0.23	1.3	16.0	Planosol mólico
Santiago Oxtimpan 1 c	5.1	3.9	11.1	0.38	1.9	20.0	Planosol mólico
Santiago Oxtimpan 2 c	5.5	4.4	20.2	0.18	2.2	38.0	Planosol mólico
Acambay 2 b	5.2	3.7	18.5	0.35	2.0	32.0	Feozem háplico
Buenvista d	5.6	4.6	20.3	0.26	4.1	56.0	Vertisol pélico
Bonxhi e	4.8	4.1	12.8	0.37	3.4	40.0	Feozem háplico
San Francisco d	5.8	4.5	14.9	0.27	3.2	46.0	Planosol mólico

Municipios: a) Atlacomulco; b) Acambay; c) El Oro; d) Soyaniquilpan; e) Aculco.

METODOS
t CaCO₃/ha



METODOS
t CaCO₃/ha

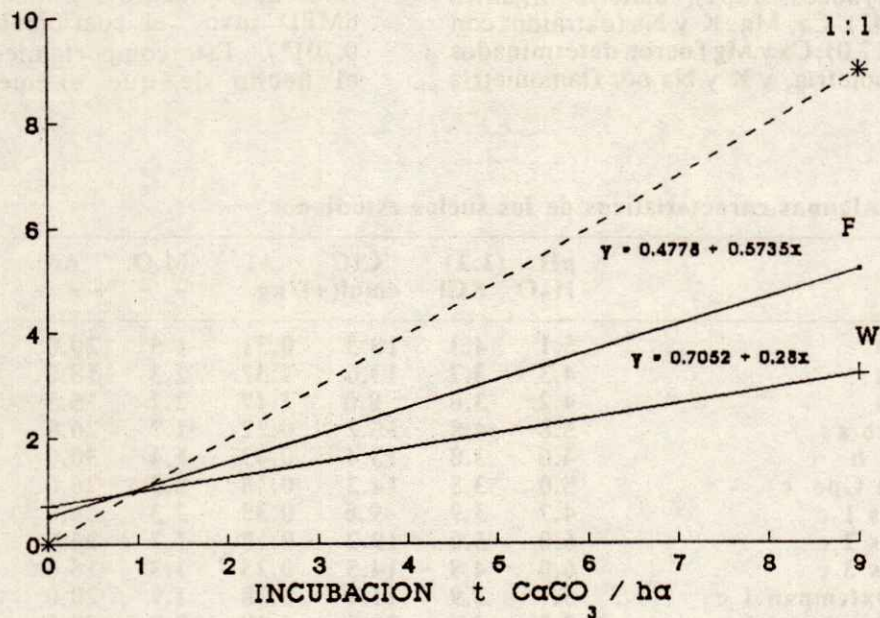


Figura 1. Relación entre el requerimiento de cal para elevar el pH de los suelos a 5.5 determinado por varios métodos e incubación con CaCO₃.

desarrollado para suelos con alto contenido de aluminio intercambiable (Shoemaker *et al.*, 1961) y los suelos de este estudio tienen bajo contenido de éste (Cuadro 1). El método SMPD fue desarrollado para estimar el requerimiento de cal para suelos con poco aluminio intercambiable (McLean *et al.*, 1977), sin embargo, los resultados obtenidos en este trabajo muestran que en los suelos estudiados este método es poco exacto. Tran y van Lierop (1982) no encontraron mayor exactitud del método SMPD, para estimar el RC para pH 5.5, que otros métodos como el SMPS.

Aun cuando la estimación del RC con los métodos comparados ha mostrado ser poco exacta, es posible estimar éste con mayor exactitud si se utiliza la ecuación de regresión apropiada para ajustar los valores obtenidos (Cuadro 5). De esta manera, los métodos F, SMPS y W representan una buena alternativa para estimar el RC para pH 5.5 de suelos como los estudiados, ya que requieren menos tiempo y trabajo para su realización.

Requerimiento de cal para pH 6.0.

La Figura 2 muestra que, al igual que para pH 5.5, la mayoría de los métodos estudiados, excepto SMPD, estiman el RC promedio por abajo del RC promedio obtenido mediante incubación. Los valores estimados representan el 73%(T), 68%(SMPS), 74%(F) y 85%(W) del RC determinado por el método de incubación (Cuadro 3), mientras que el método SMPD arroja

valores de RC mayores en un 92%, a los estimados por incubación. Todos los métodos estudiados presentan coeficientes de correlación lineal simple (r) altamente significativos con el método de incubación (Cuadro 5), sin embargo, los métodos F y SMPD tienen los mayores coeficientes; 0.866 y 0.811, respectivamente.

De los anteriores datos, los métodos W (mayor exactitud) y F (mayor correlación con los valores obtenidos por incubación) se perfilan como los más apropiados para estimar el RC en los suelos estudiados. Las ecuaciones de regresión del Cuadro 5 permiten incrementar la exactitud de la estimación hecha por cualquiera de los métodos comparados.

Requerimiento de cal para pH 6.5.

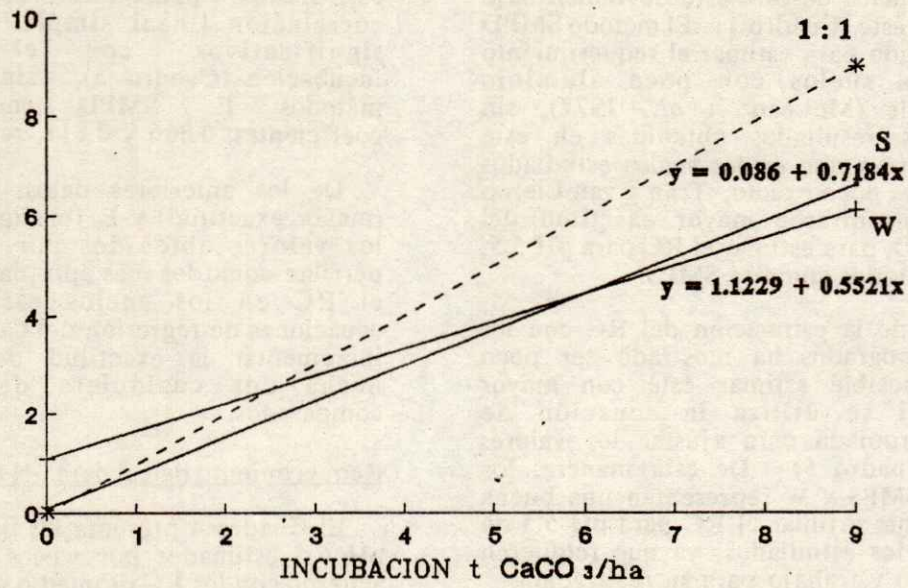
El Cuadro 4 presenta los datos de RC para pH 6.5 estimados por varios métodos. De acuerdo con los RC promedio se observa que los métodos T, F, W y C subestiman la necesidad de cal, ya que presentan valores del 64, 76, 95 y 89%, respectivamente, del RC promedio estimado por el método de referencia, mientras que los métodos SMPS, SMPD y AE sobreestiman la necesidad de cal en 23, 62 y 25%, respectivamente. Las líneas de regresión lineal (Figura 3) muestran que el método SMPS subestima el RC, cuando éste es menor de 4 t/ha aproximadamente, y lo sobreestima cuando es mayor.

Cuadro 2. Requerimiento de cal de nueve suelos para pH 5.5 determinado por varios métodos (t CaCO_3/ha).

Suelo	I	T	SMPS	SMPD	F	W
Cuendo 1	1.1	0.75	0.7	2.57	0.91	0.7
Cuendo 2	5.2	4.5	3.1	9.96	3.84	2.5
Cuendo 3	4.8	4.3	3.8	10.08	3.85	2.5
Acambay	6.0	2.85	1.6	7.01	3.11	1.8
Sta. Rosa Gpe.	1.5	1.5	0.9	4.23	1.35	0.7
San Nicolás 1	2.2	1.5	1.2	5.02	2.03	1.2
Santiago Oxtempan 1	1.5	0.8	0.9	3.60	0.90	0.7
Acambay	1.8	1.25	1.6	4.93	0.98	1.8
Bonxhi	1.6	2.3	1.8	7.33	2.07	1.8
\bar{X}	2.85	2.19	1.73	6.08	2.11	1.52

I = Incubación; T = Titulación; SMPS = Shoemaker, McLean y Pratt simple; SMPD = Shoemaker, McLean y Pratt doble amortiguado; F = Finck; W = Woodruff.

METODOS
t CaCO₃/ha



METODOS
t CaCO₃/ha

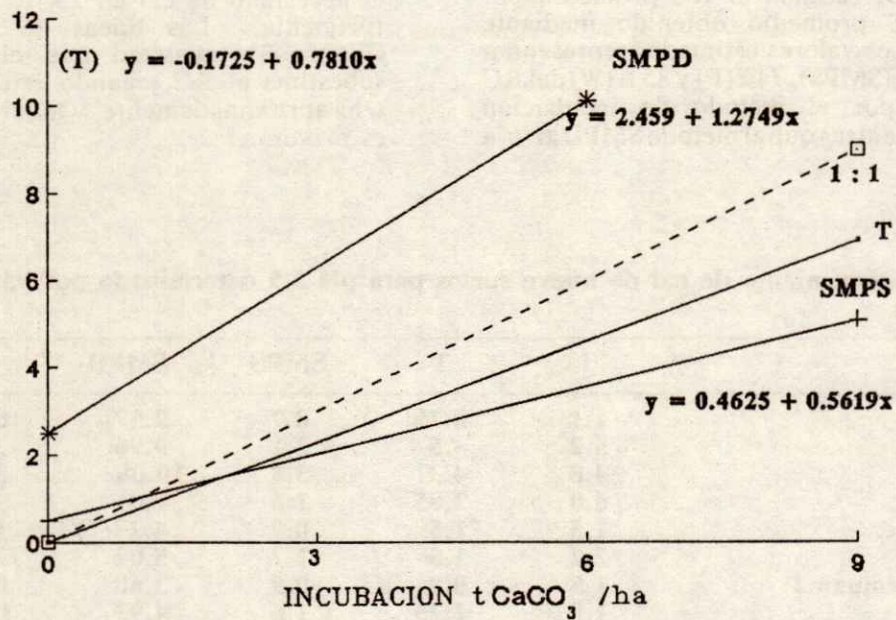


Figura 2. Relación entre el requerimiento de cal para elevar el pH de los suelos a 6.0 determinado por varios métodos e incubación con CaCO₃.

Cuadro 3. Requerimiento de cal de 13 suelos para pH 6.0 determinado por varios métodos (t CaCO₃/ha).

Suelo	I	T	SMPS	SMPD	F	W
Cuendo 1	2.0	1.25	1.4	2.82	2.03	2.0
Cuendo 2	5.86	6.35	4.9	11.95	5.22	5.2
Cuendo 3	6.40	5.7	5.6	11.93	5.33	5.2
Atlacomulco	1.0	0.45	0.6	3.00	0.79	1.0
Acambay 1	7.6	4.0	2.9	9.42	4.84	4.1
Sta. Rosa Gpe.	3.2	2.5	1.8	5.79	2.7	2.0
Sn Nicolás El Oro 1	4.0	3.5	2.3	7.20	3.3	3.1
Santiago Oxtempan 1	3.0	1.75	1.8	5.06	2.03	2.0
Santiago Oxtempan 2	2.7	2.0	2.3	7.02	1.95	3.1
Acambay 2	4.0	2.5	2.9	7.6	2.6	4.1
Buenavista	4.25	1.75	2.3	7.17	1.67	3.1
Bonxhi	3.2	4.2	2.9	9.91	3.54	4.1
San Francisco	3.2	0.75	2.3	6.6	0.90	3.1
\bar{X}	3.83	2.82	2.61	7.34	2.84	3.24

I = Incubación; T = Titulación; SMPS = Shoemaker, McLean y Pratt simple; SMPD = Shoemaker, McLean y Pratt doble amortiguado, F = Finck; W = Woodruff.

Cuadro 4. Requerimiento de cal de 15 suelos para pH 6.5 determinado por varios métodos (t CaCO₃/ha).

Suelo	I	T	SMPS	SMPD	AE	C	F	W
Cuendo 1	4.2	2.25	3.35	3.07	4.43	3.36	3.16	3.3
Cuendo 2	8.0	8.0	11.5	14.03	11.29	8.10	6.76	7.8
Cuendo 3	8.2	6.75	12.93	13.77	11.29	8.10	6.81	7.8
Atlacomulco	2.32	2.5	0.53	4.76	4.26	1.90	2.77	1.7
Acambay 1	9.0	5.0	7.5	11.83	9.58	4.26	6.57	6.3
Sta. Rosa Gpe.	5.2	2.15	4.63	7.79	5.90	6.0	4.05	3.3
San Nicolás 1	6.3	3.5	6.07	9.37	7.86	6.62	4.57	4.8
San Nicolás 2	1.3	0.3	-	2.25	0.98	1.28	1.35	-
San Nicolás 3	2.0	0.45	-	2.98	1.74	1.04	1.35	-
Santiago Oxtempan 1	4.3	1.85	4.64	6.40	5.90	4.03	3.17	3.3
Santiago Oxtempan 2	5.0	3.0	6.07	9.82	6.51	3.52	3.90	4.8
Acambay 2	5.8	3.5	7.5	10.67	7.86	4.16	4.22	6.3
Buenavista	5.5	3.75	6.07	9.76	6.51	5.90	3.76	4.8
Bonxhi	6.66	5.5	8.14	12.48	8.44	9.25	5.02	6.3
San Francisco	5.8	2.7	6.07	9.77	7.32	3.58	3.15	4.8
-								
\bar{X}	5.31	3.41	6.54	8.58	6.66	4.74	4.04	5.02

I = Incubación; T = Titulación; SMPS = Shoemaker, McLean y Pratt simple; SMPD = Shoemaker, McLean y Pratt doble amortiguado; AE = Adams-Evans; C = Keeney y Corey; W = Woodruff.

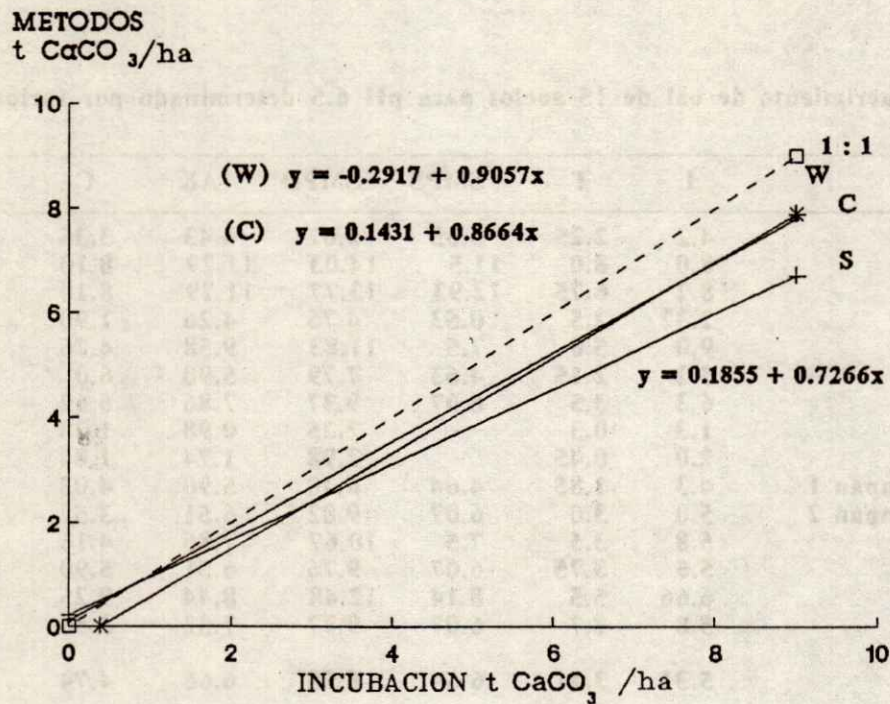
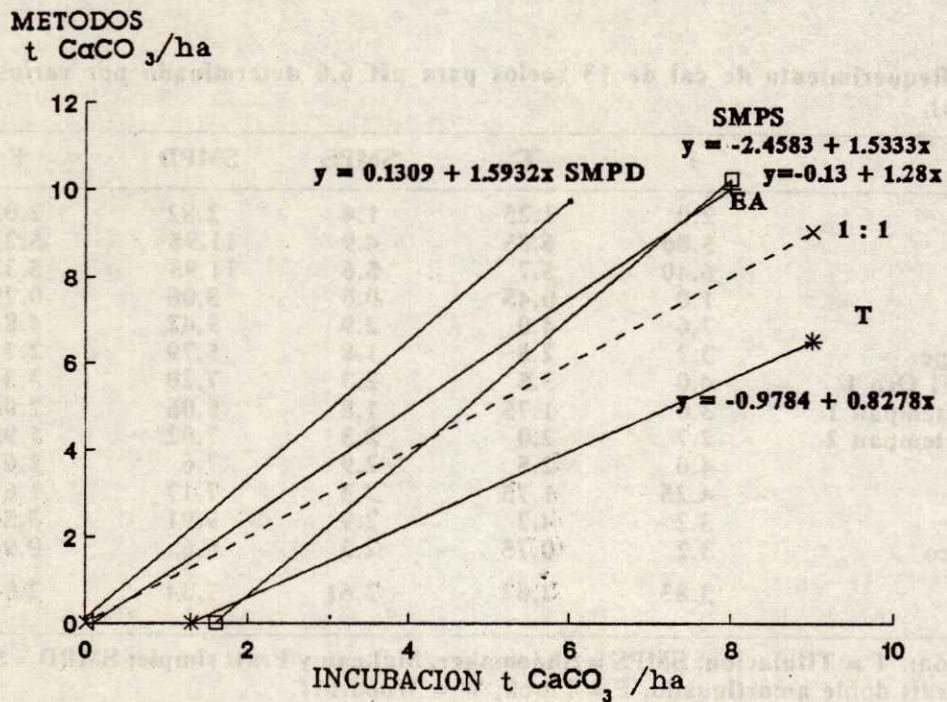


Figura 3. Relación entre el requerimiento de cal para elevar el pH de los suelos a 6.5 determinado por varios métodos e incubación con CaCO₃.

Todos los métodos presentan coeficientes de correlación altamente significativos (r) con el método de incubación (Cuadro 5). Los métodos AE, F, SMPD y W muestran los valores de r más altos, lo cual indica que pueden ser buenos métodos para estimar el RC en suelos con características similares a las de los suelos que nos ocupan. Sin embargo, la mayor exactitud que presentan los métodos F y W, inclusive el método C, hace a éstos más recomendables que los métodos AE y SMPD para determinar el RC.

Cuadro 5. Ecuaciones de regresión y coeficientes de correlación lineal simple entre el RC medido (X) y el RC de incubación (Y) en t CaCO₃/ha.

Método	Ecuación de regresión	r
Para alcanzar un pH de 5.5		
Titulación	$Y = 0.364 + 1.13X$	0.844**
SMPS	$Y = 0.663 + 1.26X$	0.701*
SMPD	$Y = -0.528 + 0.557X$	0.785**
F	$Y = -0.134 + 1.413X$	0.900**
W	$Y = -0.103 + 1.943X$	0.796**
Para alcanzar un pH de 6.0		
Titulación	$Y = 1.583 + 0.796X$	0.789**
SMPS	$Y = 1.060 + 1.060X$	0.772**
SMPD	$Y = 0.045 + 0.516X$	0.811**
F	$Y = 0.869 + 1.044X$	0.866**
W	$Y = 0.111 + 1.149X$	0.796**
Para alcanzar un pH de 6.5		
Titulación	$Y = 2.203 + 0.909X$	0.866**
SMPS	$Y = 2.659 + 0.491X$	0.867**
SMPD	$Y = 0.767 + 0.529X$	0.918**
F	$Y = 0.262 + 1.248X$	0.952**
W	$Y = 1.395 + 0.890X$	0.898**
AE	$Y = 0.524 + 0.718X$	0.959**
C	$Y = 2.033 + 0.690X$	0.773**

* Significativo al 5%.

** Significativo al 1%.

Las ecuaciones lineales de regresión del Cuadro 5 permiten incrementar la exactitud de las determinaciones de RC realizadas con los métodos estudiados.

CONCLUSIONES

Los resultados de este trabajo muestran que los métodos F y W permiten estimar el RC, para los tres pH considerados, con mayor exactitud que los métodos T, SMPS, SMPD y AE, lo cual permite suponer que dichos métodos son los más

recomendables para estimar el RC de suelos similares a los de este estudio. Aunado a lo anterior, los métodos F y W presentan la ventaja de que permiten estimar el RC de manera rápida, a partir de una lectura de pH en una suspensión suelo-solución amortiguada, lo que permite su uso en análisis de rutina. El método C representa también una buena alternativa para determinar el RC para pH 6.5, dado que para su estimación únicamente se requiere conocer el pH y contenido de materia orgánica. El uso de las ecuaciones de regresión del Cuadro 5 permite incrementar la exactitud de las estimaciones realizadas con cualquiera de los métodos mencionados.

Los métodos T, SMPS y SMPD presentaron la menor exactitud para estimar el RC para los tres valores de pH en los suelos estudiados.

LITERATURA CITADA

- ADAMS, F., and C.E. EVANS. 1962. A rapid method for measuring lime requirement of red-yellow podzolic soils. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 26: 355-357.
- AGUILAR, N. A. 1987. Capacidad de intercambio catiónico. pp. 93-107. *En:* A. Aguilar S., J. D. Etchevers B. y J. Z. Castellanos R. (eds.), *Análisis químico para evaluar la fertilidad del suelo. Publicación especial No. 1. Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo. Chapingo, México.*
- ALABI, K. E., R. C. SORENSEN, D. KNUDSEN, and G. W. REHM. 1986. Comparison of several lime requirement methods of coarse-textured soils of northeastern Nebraska. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 50: 937-941.
- BARNHISEL, R. and P. M. BERTSCH. 1982. Aluminum. pp. 275-300. *In:* A. L. Page, R. H. Miller, and D. R. Keeney (eds.), *Methods of soil analysis (Part 2), Second edition. Agronomy 9. American Society of Agronomy. Soil Science Society of America. Madison, Wisconsin.*
- BOUYOCOS, G. 1951. A recalibration of the hydrometer method for making mechanical analysis of soils. *Agron. J.* 43: 434-438.
- EDMEADES, D. C., D. M. WHEELER, and J.E. WALLER. 1985. Comparison of methods for determining lime requirements of New Zealand soils. *N. Z. J. Agric. Res.* 28: 93-100.
- FINCK, A. 1988. Fertilizantes y fertilización. Traducción al español de V. Hernando F. y M. T. Pardo F. Editorial Reverté, Barcelona, España.
- FOX, R. H. 1980. Comparison of several lime requirement methods for agricultural soils in Pennsylvania. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 11: 57-89.
- GOIJBERG, R. G. y A. AGUILAR S. 1987. pH del suelo y necesidades de cal. pp. 17-44. *En:* A. Aguilar S., J. D. Etchevers y J.Z. Castellanos R. (eds.), *Análisis químico para evaluar la fertilidad del suelo. Publicación especial No. 1. Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo. Chapingo, México.*

- JACKSON, M. L. 1976. Análisis químico de suelos. Traducción al español de J. Beltrán M. Tercera ed. Editorial Omega, Barcelona, España.
- KAMPRATH, E. J. 1970. Exchangeable aluminum as a criterion for liming leached mineral soils. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 34: 252-254.
- KEENEY, D. R., and R. B. COREY. 1963. Factors affecting the lime requirements of Wisconsin soils. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 27: 277-280.
- MCLEAN, E. O. 1965. Aluminum. pp. 978-998. In: C.A. Black (ed.) *Methods of soil analysis (Part 2) Agronomy 9*. American Society of Agronomy. Madison, Wisconsin.
- MCLEAN, E. O. 1973. Testing soils for pH and lime requirement. pp. 77-95. In: L.M. Walsh and J.D. Beaton (ed.) *Soil testing and plant analysis*. Soil Science Society of America. Madison, Wisconsin.
- MCLEAN, E. O. 1982. soil pH and lime requirement. pp. 199-224. In: A. L. Page, R. H. Miller and D., R. Keeney (ed.) *Methods of soil analysis (Part 2) Second edition*. Agronomy 9. American Society of Agronomy. Soil Science Society of America. Madison, Wisconsin.
- MCLEAN, E. O., S. W. DUMFORD, and F. CORONEL. 1966. A comparison of several methods of determining lime requirements of soils. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 30: 26-30.
- MCLEAN, E. O., J.F. TRIERWEILER, and D. J. ECKERT. 1977. Improved SMP buffer method for determining liming requirements of acid soils. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 8: 667-675.
- MEHLICH, A. 1976. New buffer pH method for rapid estimation of exchangeable acidity and lime requirement of soils. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 7: 637-652.
- REEVE, N.G., and M.E. SUMNER. 1970. Lime requirements of Natal Oxisols based on exchangeable aluminum. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 34: 595-598.
- SANTIAGO, D. S. A. DE. 1989. Evaluación cartográfica de la acidez de los suelos en el Estado de México. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. (Tesis de Licenciatura).
- SAS Institute. 1979. *SAS User's guide*. 1979 edition, Cary, North Carolina.
- SHOEMAKER, H. E., E. O. McLEAN, and P.F. PRATT. 1961. Buffer methods for determining lime requirement of soils with appreciable amounts of extractable aluminum. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 25: 274-277.
- TRAN, T. S., and W. VAN LIEROP. 1982. Lime requirement determination for attaning pH 5.5 and 6.0 of coarse-textured soils using buffer-pH methods. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 46: 1008-1014.
- VAN LIEROP, W. 1983. Lime requirement determination of acid organic soils using buffer-pH methods. *Can. J. Soil Sci.* 63: 411-423.
- VAN LIEROP, W. 1990. Soil pH and lime requirement determination. pp. 73-126. In: R. L. Westerman (ed.) *Soil testing and plant analysis*. Third edition. Soil Science Society of America. Madison, Wisconsin.
- WALKLEY, A. 1947. A critical examination of a rapid method for determining organic carbon in soil. Effect of variation in digestion conditions and of organic soil constituents. *Soil Sci.* 63: 251-264.
- WEBBER, M. D., P. B. HOYT, M. NYBORG, and D. CORNEAU. 1977. A comparison of lime requirement methods for acid canadian soils. *Can. J. Soil Sci.* 57: 361-370.
- WOODRUFF, C. M. 1948. testing soils for lime requirement by means of a buffered solution and the glas electrode. *Soil Sci.* 66: 53-63.
- YUAN, T. L. 1974. A double buffer method for the determination of lime requirement of acid soils. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 38: 437-441.

CORRECCION DE CLOROSIS FERRICA EN EL CULTIVO DE FRIJOL (*Phaseolus vulgaris*, L.)

Iron Chlorosis Correction in Beans (*Phaseolus vulgaris*, L.)

Mateo Vargas H. y Raúl Flores M.

Universidad Autónoma Chapingo, Departamento de Suelos
56230 Chapingo, Méx.

Palabras clave: Clorosis férrica, Frijol.

Index words: Iron Chlorosis, Beans.

RESUMEN

Se realizó un experimento bajo condiciones de campo, en el Ejido "El Potrero, Gto.", con la finalidad de determinar el efecto de aspersiones foliares de FeSO_4 en frijol, para corregir los problemas de clorosis férrica. Los tratamientos utilizados fueron siete: Testigo, 2, 3 y 4% de concentración de la solución de FeSO_4 , con dos y tres aplicaciones cada uno.

En el análisis estadístico y económico el mejor tratamiento fue el correspondiente a 2% de concentración de FeSO_4 , con tres aplicaciones, el cual originó un rendimiento promedio de grano de $1,974 \text{ kg ha}^{-1}$, un beneficio neto de \$ 7'794,870.00 por ha y una tasa de retorno marginal de 4,695%.

SUMMARY

In order to determine the effect of foliar spraying of FeSO_4 solution in beans (*Phaseolus vulgaris*, L.), a field experiment was carried out in an are with iron chlorosis problems. Seven treatments were tested: a control without FeSO_4 , and 2, 3 and 4% of FeSO_4 solution concentration with two and three applications, each one.

Recibido 01-92.

The statistic and economic analysis show that the treatment with 2% of FeSO_4 solution concentration and three applications, was the best. Its grain mean yield was $1,974 \text{ kg ha}^{-1}$, which represents the highest net benefit (\$7'794,870.00/ha) and the highest marginal rate of return (4,695%).

INTRODUCCION

Uno de los problemas que enfrenta la producción de cultivos en la región del Bajío Guanajuatense, es la deficiencia de Fe o clorosis férrica, que llega a reducir los rendimientos hasta en un 60% en las zonas con ese problema.

La clorosis férrica es una deficiencia nutrimental que se presenta de forma común en plantas que crecen en suelos alcalinos y calcáreos, sobre todo en cultivos susceptibles como el sorgo, soya y frijol. Rara vez la clorosis es el resultado de una deficiencia verdadera de hierro en el suelo. Por lo general, se debe a que este elemento permanece en formas poco solubles, a una inhabilidad de la planta para absorber y translocar el hierro debido a desórdenes fisiológicos o a un antagonismo entre iones en el medio de crecimiento (Baylock *et al.*, 1985).

La clorosis por deficiencia de hierro causa un amarillamiento de las hojas jóvenes de la planta, las cuales reverdecen si son tratadas con FeSO_4 , FeEDDHA u otra fuente de hierro, pero no si son tratadas con N, S, Zn, Mn, Cu, Co u otro nutrimento solo o en combinación (Chaney, 1984).

El amarillamiento se presenta por una falta de síntesis de clorofila. A medida que se desarrolla la planta el contenido de clorofila de las hojas decrece y con ello la producción de fotosintatos, lo cual reduce en gran magnitud los rendimientos de los cultivos. El hierro a pesar de no formar parte de la molécula de clorofila es esencial en la síntesis de la misma, además es constituyente de muchas enzimas en las plantas (Hutchinson, 1980).

Aun cuando los cultivos requieren de pequeñas cantidades de hierro para su desarrollo, y de que éste es abundante en la corteza terrestre como hierro total (2 a 5%), la deficiencia es la más común y difícil de corregir.

En frijol, la literatura al respecto es escasa, es evidente la falta de información cuantificada sobre aspectos importantes como efectividad relativa de las aplicaciones foliares de sustancias ferrosas, evaluación de genotipos en condiciones de campo, metodología de evaluación, genotipos resistentes, efecto de la clorosis férrica sobre el rendimiento en grano y otros.

Con base en lo anterior, los objetivos planteados en el presente trabajo son:

Estudiar el uso de soluciones ferrosas, como una alternativa de corrección de los problemas de clorosis férrica en cultivos susceptibles y determinar la concentración y el número de aplicaciones de sulfato ferroso que promueven el mayor rendimiento en grano de frijol. Así como realizar un análisis económico para encontrar el tratamiento que genere un mayor beneficio y/o mayor tasa de retorno marginal.

MATERIALES Y METODOS

Tomando en consideración que el problema de clorosis férrica se presenta en forma irregular en el terreno (manchones), para poder contrastar los tratamientos de aplicación del sulfato ferroso, contra un testigo que consistió en la práctica tradicional de no aplicación del sulfato, se procedió a seleccionar un terreno que presentara evidencias de afloramientos y/o gránulos de material calcáreo en la superficie, distribuidos en aproximadamente la

mitad de la extensión requerida para el trabajo, que fue de una hectárea.

Para conservar las características de manejo del cultivo bajo condiciones de producción comercial, la unidad experimental fue de cinco surcos de 50 m de longitud y 1.20 m de ancho, se evaluaron siete tratamientos:

- 1) Testigo (sin aplicación de FeSO_4)
- 2) 2% de concentración de FeSO_4 y 2 aplicaciones
- 3) 3% de concentración de FeSO_4 y 2 aplicaciones
- 4) 4% de concentración de FeSO_4 y 2 aplicaciones
- 5) 2% de concentración de FeSO_4 y 3 aplicaciones
- 6) 3% de concentración de FeSO_4 y 3 aplicaciones
- 7) 4% de concentración de FeSO_4 y 3 aplicaciones

La primera aplicación del sulfato ferroso se hizo un mes después de que se estableció el cultivo, cuando se empezaron a mostrar los síntomas de clorosis férrica. La segunda y tercera aplicación se realizaron al reincidir el problema de clorosis.

Las prácticas de cultivo correspondieron a las tradicionales en la región, esto es, preparación del terreno y siembra mecanizada.

La parcela útil fue de tres surcos centrales por 10 m de largo.

RESULTADOS Y DISCUSION

En el Cuadro 1 se muestran los resultados del rendimiento en grano de frijol para cada tratamiento y repetición, así como su promedio. Estos resultados indican que existe una tendencia hacia el incremento del rendimiento conforme se aumenta el número de aplicaciones, para una misma concentración del sulfato ferroso. En cambio esta tendencia no se presenta claramente para el caso del incremento de concentración, independientemente del número de aplicaciones.

ANALISIS ESTADISTICO

Para analizar estos resultados desde un punto de vista cuantitativo, se empleó el modelo lineal correspondiente a un diseño completamente aleatorizado, dando como resultado, diferencia altamente significativa.

Cuadro 1. Rendimiento de grano de frijol (kg ha⁻¹) como respuesta a aplicaciones foliares de sulfato ferroso.

Tratamiento	Repetición 1	Repetición 2	Repetición 3	Promedio
Testigo	866	1 180	1 388	1 145
2%, 2 aplic.	1 388	1 666	1 652	1 569
3%, 2 aplic.	1 452	930	1 527	1 303
4%, 2 aplic.	1 529	1 388	1 333	1 417
2%, 3 aplic.	2 019	1 805	2 097	1 974
3%, 3 aplic.	1 861	1 694	1 569	1 708
4%, 3 aplic.	1 813	1 583	1 777	1 724

Cuadro 2. Contrastes ortogonales para las medias del rendimiento de frijol.

Contraste	Grados de libertad	Sumas de cuadrados	Cuadrados medios	F Calculada
Testigo vs promedio	1	570 340.6	570 340.6	14.83***
2 aplic. vs 3 aplic.	1	623 844.5	623 844.5	16.22***
2% vs 3% concent.	1	120 721.1	120 721.1	3.14NS

*** Significativo al 0.1%

NS: No significativo al 5%

Empleando contrastes ortogonales se obtiene para el primero (Cuadro 2) que existe una diferencia altamente significativa (Prob. de $F = 0.0018$), entre el testigo (no aplicación de sulfato ferroso) y el promedio de los demás tratamientos (aplicación del sulfato ferroso). Igualmente el segundo contraste es altamente significativo (Prob. de $F = 0.0012$), lo que indica que existe una diferencia en el rendimiento en grano de frijol, debido al número de aspersiones de sulfato ferroso al follaje.

Para el caso del último contraste no existe evidencia significativa (Prob. de $F = 0.0982$), lo que implica que no hay diferencia en el rendimiento en grano de frijol por efecto de concentración del sulfato ferroso.

La comparación múltiple de medias por el método de Tukey generó los siguientes resultados (Cuadro 3), donde se observa que existen dos grupos de medias contrastantes. En el primer grupo se encuentran los

tratamientos 5, 7 y 6 que corresponden a las tres aplicaciones del sulfato ferroso, el otro grupo está formado por los tratamientos 2, 4, 3 y 1, que corresponden a las dos aplicaciones y sin aplicación el último, respectivamente. Lo que concuerda con los resultados de los contrastes.

Cuadro 3. Prueba de Tukey para comparación de medias de rendimiento de frijol, en el Ejido "El Potrero, Gto."

Tratamiento	Media	Agrupamiento Tukey
5 = 2%, 3 aplic.	1 974.0	A ¹⁾
7 = 4%, 3 aplic.	1 724.9	A
6 = 3%, 3 aplic.	1 708.3	A
2 = 2%, 2 aplic.	1 569.4	B
4 = 4%, 2 aplic.	1 417.3	B
3 = 3%, 2 aplic.	1 303.6	B
1 = Testigo	1 145.3	B

1) medias con la misma letra no difieren significativamente al 5%.

ANÁLISIS ECONOMICO

Se realizó un análisis económico de presupuesto parcial (Cuadro 4), el cual proporcionó los siguientes resultados: En primer lugar, dentro del mismo número de aplicaciones, los mayores beneficios netos están asociados al tratamiento de 2% de concentración de sulfato ferroso (tratamientos 2 y 5, para dos y tres aplicaciones respectivamente), y además de que para la misma concentración, se tienen mayores beneficios netos con tres aplicaciones. Siendo el mayor beneficio neto el correspondiente a la

combinación de los factores mencionados, es decir, el tratamiento de 2% de concentración y con tres aplicaciones, con un valor de \$7'794,870.00 por hectárea.

Para lograr una recomendación más consistente con las condiciones de los productores, es necesario realizar un análisis marginal (Cuadro 5), que determine el tratamiento que reporte la mayor tasa de retorno marginal, considerando la escasez de capital y el alto riesgo implícito. En él se encontraron los siguientes resultados: al

Cuadro 4. Análisis de presupuesto parcial (CIMMYT, 1988).

Tratamiento	1	2	3	4	5	6	7
Rendimiento medio (kg/ha)	1145	1569	1303	1417	1974	1708	1724
Beneficio bruto de campo (miles \$/ha) ²⁾	4581	6277	5214	5669	7896	6833	7179
Costo del sulfato ferroso (\$/ha)	0.0	7500	11250	15000	11250	16875	22500
Costo aplicación del sulfato (\$/ha)	0.0	60000	60000	60000	90000	90000	90000
Total de costos variables (\$/ha)	0.0	67500	71250	75000	101250	106875	112500
Beneficios netos (miles \$/ha)	4581	6210	5143	5594	7794	6726	7067

2) El precio del frijol obtenido en el mercado es de \$4 000/kg y no corresponde al precio oficial de garantía establecido en \$1 850.

Cuadro 5. Análisis marginal para el rendimiento en grano de frijol.

Tratamiento	Costos variables	Costos marginales	Beneficios netos	Beneficios netos marg.	Tasa de retorno marginal
----- (\$ ha) -----					
1	0.0	67 500	4 581 200		
2	67 500.0	33 750	6 210 000	1 628 800	2413.7%
5	101 250.0	- - -	7 794 870	1 584 870	4695.9%

pasar del tratamiento testigo al de 2% con dos aplicaciones, se obtiene una tasa de retorno marginal del 2413% y para el caso de pasar del tratamiento 2% con dos aplicaciones al de 2% con tres aplicaciones, se obtiene una tasa de retorno marginal de casi el doble que la anterior, 4695%, lo cual significa que por cada \$1.0/ha invertido en la tecnología propuesta se recupera ese \$1.0 más \$24.13/ha y \$46.95/ha adicionales, respectivamente.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Tomando en consideración los resultados obtenidos en este trabajo, se puede concluir lo siguiente:

- 1) La aplicación de aspersiones de sulfato ferroso al follaje de frijol que presenta síntomas de clorosis férrica, produce un efecto significativo en el incremento de rendimiento de grano.
- 2) Se logró un mayor rendimiento en grano de frijol, con tres aplicaciones del sulfato ferroso al 2%, este tratamiento presentó el

mayor beneficio y la mayor tasa de retorno. concentraciones, con respecto a las dos aplicaciones.

- 3) Independientemente del número de aspersiones de sulfato ferroso, no se encontró diferencia en el rendimiento de grano, para las tres concentraciones empleadas (2, 3 y 4%).

LITERATURA CITADA

- BAYLOCK, A.D., V.D. JOLLEY, J.C. BROWN, T.D. and D. WALSER. 1985. Iron-stress response mechanism and iron uptake in iron-efficient and -inefficient tomatoes and soybeans treated with cobalt. *J. Plant Nutr.* 8: 1-14.
- CIMMYT. 1988. La formulación de recomendaciones a partir de datos agronómicos: Un manual metodológico de evaluación económica. México, D.F. CIMMYT.
- CHANEY L., R. 1984. Diagnostic practices to identify iron deficiency in higher plants. *J. Plant Nutr.* 7: 47-67.
- HUTCHINSON W., A. 1980. Plant propagation and cultivation. Text manual series A.V.I. Publ. Co. In. Connecticut. USA.

ESTUDIO PRELIMINAR DE LA PRECIPITACION PLUVIAL MENSUAL EN EL ESTADO DE COLIMA

Rainfall Climatic Studies in the Colima State

Octavio Pérez Zamora

INIFAP-Colima, Apartado Postal # 104, 28000 Colima, Col.

Palabras clave: Precipitación confiable, Demanda y uso de agua, Potencial de sitio.

Index words: Dependable precipitation, Water use and demand, Site potential.

RESUMEN

La cantidad y oportunidad de la precipitación son factores clave que influyen en el potencial agrícola de las zonas productoras del estado de Colima. Sin embargo, en el estado no se han realizado estudios básicos estratégicos que permitan estimar las demandas hídricas, la regionalización edafoclimática y la correlación de éstos con los principales cultivos. El objetivo del presente trabajo fue subsanar la carencia de información y caracterizar en términos probabilísticos la distribución de la precipitación de 25 estaciones climatológicas de Colima, y regionalizar las zonas productoras en tres categorías: bajo, medio y alto potencial productivo. Las metodologías consistieron en la estimación de la precipitación anual y mensual a niveles de probabilidades del 90, 75, 50 y 25%. La relevancia, impacto y aplicaciones de los resultados obtenidos se presentan y discuten en este documento. Las precipitaciones anuales máximas al 90, 75 y 25% de probabilidad se registraron en Minatitlán, las cuales son del orden de 1161,

1102 y 1159 mm, respectivamente; en contraste los valores mínimos del estado se registraron en Estapilla, los cuales son de 382, 412 y 513 mm para las probabilidades indicadas. Otras localidades con buena precipitación confiable (75% de probabilidad) son Cuauhtémoc y Buenavista, mientras que localidades con baja precipitación son Tecomán, Armería y Pueblo Juárez. La utilización de la precipitación confiable (PC) para cultivos de temporal debe ser una herramienta a incluirse para mejorar la definición y selección de paquetes tecnológicos. Una aplicación inmediata de la PC es la agrupación de ambientes en niveles productivos de granos básicos de temporal, los cuales pueden afinarse con mayor precisión y detalle en etapas posteriores, mediante el uso de técnicas para el cálculo de análisis frecuenciales, balances climáticos, frecuencias de períodos secos y lluviosos, entre otros.

SUMMARY

Variations in the amount and opportuneness of rainfall are key factors on the estimation of agricultural potential in the state of Colima (Mexico). However, basic and strategic studies to estimate water requirements of crops and its correlation with soil and climatic factors have not been conducted in the region. The objective of this work was to cover the lack of information on climatic data and to characterize in probabilistic terms (90, 75, 50 and 25%) the rainfall distribution, for 25 stations of the state of Colima as well as to group regions according to their by agricultural potential under:

Low, Fair, and Good probabilistic levels. The annual and monthly rainfall at 90, 75, 50 and 25% probability were calculated. When the 75% of probability was chosen as a grouping criteria the places with Good agricultural potential are Minatitlan, Cuauhtémoc, Quesería, Peñitas, Buenavista and Colima; areas with Fair potential are Camotlan, Manzanillo, Comala, Ixtlahuacan, Cerro de Ortega and Coquimatlan; while low marginal areas are Estapilla, Armeria, Pueblo Juarez, V. Carranza, Los Ortices and Tecoman.

INTRODUCCION

En las regiones del trópico seco y húmedo los bajos niveles tecnológicos utilizados en la agricultura están correlacionados con una producción agrícola inestable, de tal forma que las características distintivas de los ambientes tropicales guardan estrecha relación con la distribución de los recursos naturales: suelo, precipitación y otras variables del clima. Debido al régimen lumínico, temperatura e influencias orográficas se generan gran variedad de patrones de distribución de la precipitación. Bajo estas circunstancias los factores claves de la producción son la cantidad y oportunidad de la precipitación ocurrida en el ciclo (Pérez y Mejía, 1988; Virmani, 1975).

En los trópicos los efectos de los diferentes patrones de distribución de la lluvia sobre la disponibilidad de humedad resultan más agudos, debido a que la evaporación y transpiración de las plantas son de mayor magnitud que en los ambientes templados. En consecuencia, la determinación de los potenciales agrícolas, la cuantificación de la precipitación (duración, cantidad y oportunidad), capacidad de almacenamiento del suelo y características evaporativas de los cultivos resultan de fundamental importancia. Dada la variabilidad de los ambientes tropicales, tal cuantificación y descripción también contribuye a precisar y delinear la potencialidad de sitios de referencia, para establecer y conducir trabajos de experimentación, validación y demostración de tecnología generada por los campos experimentales. Esto conlleva la necesidad de poner en términos integrales, no sólo biológicos, lo cual obliga a revisar conceptos de producción en términos de producto. De esta manera hay que concentrarse en buscar

tecnologías que tengan penetración, que sean efectivas y rentables, además de ser competitivas (López y Pérez, 1991).

En el estado de Colima no se han realizado estudios básicos para estimar las demandas hídricas y ajustar la tecnología generada en congruencia con el ámbito físico donde se desarrollan los cultivos. Para hacer un uso más eficiente del agua de riego, y delimitar regiones de temporal donde la precipitación satisfaga las demandas de agua de los cultivos, es urgente realizar la regionalización y caracterización edafoclimática como un prerequisite para lograr rendimientos sostenidos en la región (SARH, 1990; SARH, 1991; Pérez, 1991).

El Banrural, la Delegación de la SARH e INIFAP plantearon e iniciaron trabajos de regionalización, conjugando esfuerzos y recursos, con el objetivo de correlacionarlos con el rendimiento de los cultivos del estado de Colima, y así determinar para cada cultivo, las zonas de alto, mediano y bajo potencial productivo. En esta primera etapa se caracterizó la distribución y oportunidad de la precipitación en términos probabilísticos de 25 estaciones climatológicas del estado.

MATERIALES Y METODOS

Los datos de precipitación diaria para 25 estaciones agroclimáticas del estado de Colima que se muestran en el Cuadro 1, fueron suministrados por la Comisión Nacional del Agua. Los registros de la precipitación fueron de 20 años como mínimo y en otros casos de más de 40.

La información se procesó, utilizando la metodología de Pérez y Mejía (1988). Se realizaron los análisis de la precipitación esperada al 90, 75, 50 y 20% de probabilidad de ocurrencia anual y mensual. Además, con la finalidad de hacer agrupamientos de zonas, a la cantidad de precipitación esperada mensualmente al 75% de probabilidad se le fijaron condicionantes adicionales. Estas condicionantes se establecieron con base en el conocimiento y comportamiento de cultivos de temporal, como el maíz y sorgo, en cuanto a sus necesidades hídricas mensuales durante su ciclo de cultivo; sin embargo, dichas condicionantes pueden modificarse si se desean niveles de confiabilidad mayor o menor en

Cuadro 1. Estaciones climatológicas para las cuales se calcularon las probabilidades de lluvia en Colima.

No. Estación	Latitud	Longitud	Altitud	Año de inicio
			manm	
1 Armería	18° 56'	103° 57'	35	1942
2 Buenavista	19° 14'	103° 59'	359	1921
3 Callejones	18° 49'	103° 59'	24	1943
4 Camotlán	19° 13'	104° 14'	250	1960
5 C. de Ortega	18° 45'	103° 43'	50	1947
6 Colima	19° 15'	103° 43'	498	1949
7 Colima	19° 14'	103° 43'	494	1917
8 Comala	19° 20'	103° 46'	620	1926
9 Coquimatlán	19° 12'	103° 49'	310	1921
10 Cuauhtémoc	19° 19'	103° 37'	930	1947
11 Cuyutlán	18° 55'	104° 04'	10	1943
12 Estapilla	18° 59'	103° 32'	400	1961
13 Ixtlahuacán	19° 00'	103° 44'	680	1947
14 La Salada	19° 03'	103° 43'	305	1960
15 Las Peñitas	19° 20'	103° 49'	450	1967
16 Los Ortices	19° 07'	103° 44'	600	1962
17 Los Otates	19° 15'	104° 20'	26	1965
18 Madrid	19° 06'	103° 53'	35	1970
19 Manzanillo	19° 03'	104° 18'	8	1921
20 Minatitlán	19° 24'	104° 03'	757	1958
21 Pueblo Juárez	19° 10'	103° 55'	35	1958
22 Quisería	19° 23'	103° 34'	1210	1961
23 Tecomán	18° 55'	103° 53'	33	1961
24 Tepames	19° 06'	103° 38'	510	1947
25 V. Carranza	19° 01'	104° 08'	50	1970

Fuente: Comisión Nacional del Agua. Colima.

relación con la eficiencia del cultivo para el uso del agua. Las condicionantes establecidas se indican a continuación:

Mes	Nivel de productividad de la zona	
	Alto	Bajo
	<u>Precipitación mm</u>	
Junio	> = 100	< = 45.5
Julio	> = 150	< = 90
Agosto	> = 200	< = 150
Septiembre	> = 200	< = 150

Los análisis anteriores consideran únicamente la ocurrencia y variación de la precipitación. Sin embargo, la demanda evaporativa atmosférica es continua y el suelo sirve como medio de balance para cubrir la discontinuidad del suministro de agua durante el período de ausencia de precipitación. Esta condición representa una limitante para estimar con precisión la demanda y suministro de agua entre el cultivo y suelo, respectivamente. No obstante, la complejidad de la situación presentada, es posible hacer

amplias generalizaciones que sirvan como aproximaciones preliminares en la descripción del ambiente y en estudios de regionalización, ya que el carácter de la precipitación, en particular en un mes dado (por ejemplo intensidad, duración, etc.) y los elementos del sistema atmósfera suelo-planta determinan la efectividad de la precipitación en relación a la demanda evaporativa. Aunque se reconoce la importancia del suelo y la evaporación sobre el comportamiento de los cultivos, éstos no se incluyen en este estudio preliminar por no contarse actualmente con dicha información; en una etapa posterior se capturará la evaporación diaria de cada estación, y se utilizarán para el cálculo de ETP, mediante el cálculo de Penman. Por otra parte, se colectará también información de suelo y otras variables para incluirlas en un sistema de Información Geográfica Computarizado.

RESULTADOS Y DISCUSION

Los resultados de los registros climatológicos analizados para probabilidades de precipitación media anual al 90, 75, 50 y 25%, así como los días con lluvia en el período se muestran en el Cuadro 2.

Cuadro 2. Precipitación esperada a varios niveles de probabilidad en el estado de Colima. 1991.

Estación	Precipitación (mm)				Media	No. días
	Nivel de probabilidad					
	90%	75%	50%	25%		
Armería	425	496	670	934	875	92
Buenavista	636	783	1112	1162	1200	61
Callejones	591	666	870	1223	926	81
Camotlán	682	719	871	1014	895	53
Colima ES	651	726	937	1282	955	62
Colima SH	672	746	959	1075	882	55
Comala	530	693	1034	1072	863	60
Coquimatlán	580	657	862	960	746	65
Cuauhtémoc	938	996	1219	1385	1217	65
Cuyutlán	533	566	1067	1094	966	67
C. de Ortega	599	664	852	1343	989	66
Estapilla	382	412	513	927	742	59
Ixtlahuacán	580	668	893	1103	1219	70
La Salada	530	642	900	1071	880	86
Las Peñitas	789	809	935	1182	1088	74
Los Ortices	441	494	738	858	850	45
Los Otates	608	620	880	978	1166	42
Madrid	642	706	899	1082	897	44
Manzanillo	626	718	956	1070	1187	68
Minatitlán	1161	1102	1159	1487	1252	77
Pueblo Juárez	341	505	825	915	735	77
Quisería	813	935	1247	1487	1250	42
Tecomán	488	525	716	645	827	58
Tepames	474	558	762	840	785	57
V. Carranza	354	510	816	1088	742	53
Máxima	1161	1102	1247	1487	1252	92
Mínima	341	412	513	645	735	42

Las precipitaciones máximas al 90, 75 y 25% de probabilidad se observaron en la estación de Minatitlán. Los valores máximos obtenidos nos indican que en Minatitlán se tiene la mayor precipitación en el estado. Una situación similar se observó para la estación de Quesería, donde se obtuvo la precipitación de 813 mm al 90% de probabilidad. En contraste, las localidades donde la precipitación fue de menor magnitud fueron Estapilla (75 y 50%) y Pueblo Juárez (90% y media aritmética del período); en esta última localidad los valores observados fueron de 341 y 735 mm, respectivamente. Otras localidades con buena cantidad de precipitación son Cuauhtémoc y Buenavista, mientras que localidades con baja precipitación son Tecomán, Armería y Tepames. El resto de las localidades tiene una cantidad de precipitación que se considera como moderada o regular.

De los datos presentados el que más interesa es la precipitación esperada al 75% de probabilidad, ya que ésta es definida por Hargreaves (1975), y aceptada por el resto de los investigadores, como la precipitación confiable o segura para cultivos establecidos en condiciones semiáridas. Para cultivos tolerantes a sequía o desarrollados en ambientes áridos se puede seleccionar un nivel del 50%, mientras que para cultivos con mayor demanda de agua se sugiere utilizar el 90% de probabilidad (Pérez y Mejía, 1988).

Hasta el momento la discusión se ha centrado principalmente en la probabilidad de lluvia a un determinado nivel. Sin embargo, otros de los componentes importantes que afectan la extensión del período de crecimiento son la capacidad de almacenamiento del suelo, así como la posición topográfica que ocupe en el paisaje. Los diferentes perfiles de humedad a intervalos semanales, quincenales o mensuales se asocian con la variación pedogenética que existe en el estado de Colima, ya que Pérez (1991) reporta que es posible encontrar siete de los 11 órdenes de suelos existentes en el mundo. El otro componente importante es la topografía, ya que según el mismo investigador, la pendiente media del estado es del 22%, lo cual influye en el almacenamiento, escurrimiento y el drenaje de los suelos, así como en la producción de los cultivos. En consecuencia, los suelos arenosos, poco profundos o con grado de pendiente fuerte (>6 %) tendrán poca capacidad de almacenamiento para el suministro de agua a los cultivos, haciéndolos suscep-

tibles a la sequía o al abatimiento de rendimiento a causa del estrés hídrico. Por esta razón bajo condiciones idénticas de precipitación, los efectos de períodos cortos de sequía sobre un cultivo estarán en función de la clase de suelo que se tenga en la región. La cantidad de agua perdida como escurrimiento también será diferente e influirá en el potencial edafoclimático de la región y cultivo.

Precipitación Confiable al 75% de Probabilidad.

En el proceso de la toma de decisiones en la agricultura se debe considerar el riesgo involucrado en el proceso productivo. En estas condiciones, se calcula la cantidad de precipitación esperada para una precipitación dada (se fija el nivel de probabilidad deseado) utilizando una distribución gamma incompleta (Pérez y Mejía, 1988). Como se señaló anteriormente, para cultivos de temporal se establece un 75%, o sea, 3 años de 4; en estas circunstancias los paquetes tecnológicos deberían incluir también el componente estadístico, y ayudar al usuario de la tecnología para decidir el nivel tecnológico a utilizar. Sin embargo, los paquetes tecnológicos actuales son empíricos y difícilmente pueden servir de guía en zonas con precipitación moderada y mala distribución, donde se localizan las zonas de mediano y bajo nivel de potencial productivo.

Como se señaló previamente, la precipitación mensual se calculó para cada uno de los siguientes niveles de probabilidad, 90, 75, 50 y 25%, sin embargo, por cuestiones de espacio y de relevancia a las condiciones agrícolas del estado de Colima, sólo se incluye la precipitación mensual esperada al nivel del 75%, la cual se muestra en el Cuadro 3 para cada una de las estaciones comprendidas en el presente estudio. Además, en Colima la agricultura de granos básicos es esencialmente de temporal e incluye sorgo, maíz y arroz, entre otros. La precipitación (1102 mm) máxima al 75% se observó en Minatitlán, mientras que la mínima anual se registró en Estapilla y es de sólo 412 mm anuales. Esta situación resulta más drástica debido al hecho que las precipitaciones esperadas en esta localidad en septiembre (92.1 mm) y octubre (32.9 mm) también corresponden a los registros más bajos de todo el estado. Bajo estas circunstancias resulta difícil encontrar paquetes tecnológicos que den una respuesta

apropiada, ya que las condiciones son realmente difíciles. Otras localidades que presentan condiciones igualmente drásticas son Pueblo Juárez y Armería. En contraste, localidades como Cuauhtémoc, Quesería y Buenavista tienen condiciones más favorables. En éstas, la precipitación esperada al 75% es del orden de 996, 935 y 783 mm, respectivamente, y además la distribución es más uniforme durante el ciclo, que en las localidades indicadas anteriormente.

Un hecho sobresaliente es el que la precipitación esperada durante los meses de enero, febrero, marzo y abril es cero. Esto es válido tanto para localidades con precipitación escasa, como para las localidades con precipitación regular y buena. En el mes de

diciembre la precipitación es prácticamente nula al nivel de probabilidad que nos ocupa (75%).

Los cálculos de probabilidades de la precipitación requieren registros largos, en cuanto a tiempo se refiere, ya que están basados en la selección de una función matemática que describe apropiadamente la distribución de la precipitación en una determinada región (Pérez y Mejía, 1988). Este requisito constituye con frecuencia una seria restricción para el uso universal de los sistemas de clasificación climática como el MAI (Índice de Disponibilidad de Humedad de Hargreaves). Sin embargo, en Colima esta situación puede ser subsanada, ya que los registros climáticos comprenden periodos

Cuadro 3. Precipitación (mm) mensual al 75% de probabilidad en el estado de Colima.

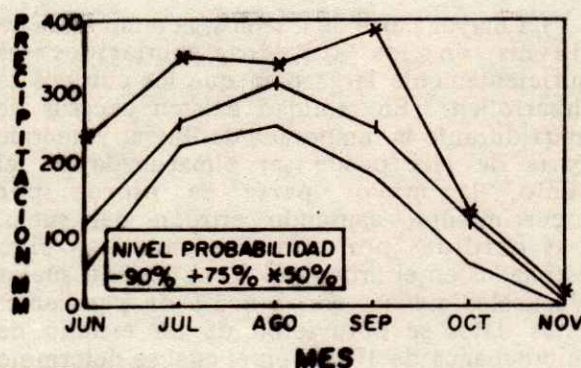
Estación	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Agosto	Sept	Oct	Nov	Dic	Total
Armería	0	0	0	0	45	67	83	76	99	72	50		496
Buenavista	0	0	0	0	1	101	190	182	81	83	31	11	783
Callejones	0	0	0	0	20	90	99	155	167	96	16	20	666
Camotlán	0	0	0	0	50	93	150	190	172	48	12	0	718
Colima ES	0	0	0	0	0	91	135	178	174	58	26	0	664
Colima SH	0	0	0	0	0	90	192	181	190	60	11	0	726
Comala	0	0	0	0	0	90	191	184	190	66	12	10	746
Coquimatlán	0	0	0	0	0	179	163	136	138	55	20	0	693
Cuauhtémoc	0	0	0	0	26	79	145	146	149	55	30	25	657
Cuyutlán	5	0	0	0	39	150	223	192	295	63	30	0	996
C. de Ortega	0	0	0	0	50	45	83	144	144	63	30	0	566
Estapilla	0	0	0	0	0	41	86	130	92	32	29	0	412
Ixtlahuacán	0	0	0	0	0	87	141	194	172	51	21	0	668
La Salada	0	0	0	0	0	82	138	186	164	46	24	0	642
Las Peñitas	0	0	0	0	12	93	187	190	197	67	30	30	809
Los Ortices	0	0	0	0	0	44	106	135	146	41	20		494
Los Otates	0	0	0	0	0	44	147	171	146	58	33	18	620
Madrid	0	0	0	0	0	120	140	179	144	60	37	25	706
Manzanillo	0	0	0	0	0	99	172	160	195	64	20	6	718
Minatitlán	0	0	0	0	10	125	258	281	260	128	26	10	1102
P. Juárez	0	0	0	0	0	42	83	153	106	80	38	0	505
Quesería	0	0	0	0	26	126	201	193	203	116	38	30	935
Tecomán	0	0	0	0	0	47	87	135	142	61	40	10	525
Tepames	0	0	0	0	0	54	135	135	148	84	0	0	558
V. Carranza	0	0	0	0	0	38	95	146	124	94	10	0	510
Minima					0	38	83	76	92	32	0	0	412
Máxima					50	179	258	281	295	128	50	30	1102
Promedio					11	85	145	166	1655	68	25	7	676

largos y son confiables. La restricción más seria es capturar, editar y afinar los datos primarios, e iniciar el proceso como se ha hecho en este reporte. Posteriormente, en una segunda y tercera etapa se procederá a afinar con mayor precisión y detalle la información, efectuando análisis frecuenciales de la precipitación, secuencias de días secos y lluviosos, entre otros análisis.

Zonas de Alto, Mediano y Bajo Nivel Productivo.

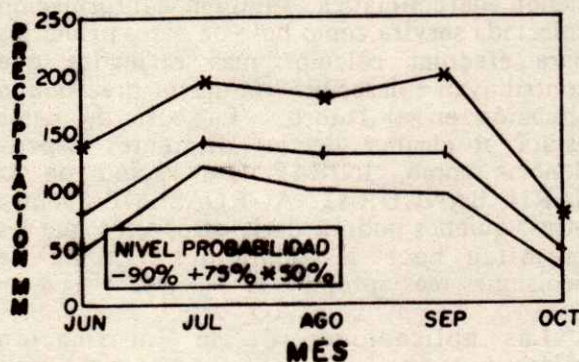
La planeación y establecimiento de los cultivos en las áreas tropicales confronta dificultades, entre las que se encuentran variaciones temporales y variaciones espaciales de la precipitación. En cuanto a la variación temporal las localidades del estado exhiben considerable variabilidad de año a año. Por ejemplo, la precipitación del Campo Experimental Tecomán es altamente errática, y los datos de los últimos 10 años varían de 303 mm en 1981 a 1083 mm en 1988 (Pérez, 1991a). La variación no ocurre solamente entre años, sino también estacionalmente; para esta misma localidad, y en muchas otras del resto del estado, septiembre se caracteriza por ser uno de los meses más húmedos y, 1988 con 307 mm no fue la excepción. Sin embargo, septiembre de 1981 fue el más seco de todo el periodo; la precipitación del mes en este año (1981) fue de cero. En cuanto a variaciones espaciales se refiere, tres estaciones del estado pueden ilustrar esta situación como se puede apreciar en las Figuras 1, 2 y 3; las localidades de Minatitlán, Colima y Estapilla representan gradientes de mayor a menor precipitación, constituyendo zonas con buena, mediana y mala distribución de la lluvia, respectivamente.

La Figura 1 muestra las cantidades mensuales estimadas de precipitación a diferentes niveles de probabilidad para Minatitlán. Se observa que la humedad al 75% podría considerarse como adecuada para el sustento de la mayoría de los principales cultivos básicos de la región como el maíz, sorgo y arroz; ya que se cubren los requerimientos hídricos de dichos cultivos durante 4 meses. En el otro extremo se encuentra Estapilla (Figura 2), con únicamente dos meses en los cuales la precipitación podría satisfacer la demanda potencial por agua. Colima ocupa una posición intermedia entre las dos situaciones descritas (Figura 3), con tres meses en el año en los cuales se podrían cubrir las demandas de agua.



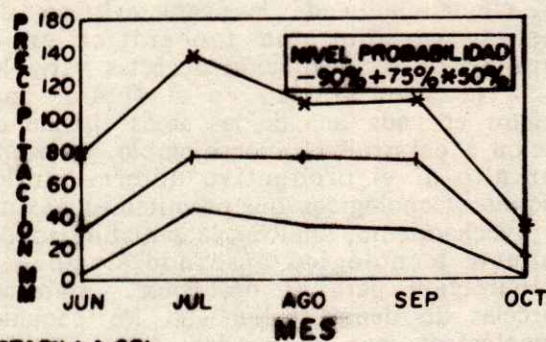
MINATITLÁN, COL.

Figura 1. Precipitación mensual a diferentes niveles de probabilidad preestablecidos.



COLIMA, COL.

Figura 2. Precipitación mensual a diferentes niveles de probabilidad preestablecidos.



ESTAPILLA, COL.

Figura 3. Precipitación mensual a diferentes niveles de probabilidad preestablecidos.

La mayor parte de los años, la temporada de lluvias en los trópicos semiáridos es suficientemente larga para que los cultivos se desarrollen. En realidad existen excesos de agua durante la temporada de lluvia, y aunque parte de ella puede ser almacenada en el suelo, la mayor parte se pierde por escurrimiento, causando erosión del suelo. Las pérdidas por escurrimiento han sido estimadas en el orden del 33 al 60% en suelos Vertisoles gleycos con 2 a 3% de pendiente, estos datos se obtuvieron de un estudio de microcuenca de 10 ha, en el cual se determinó el balance hídrico de dicha cuenca (Pérez, 1991).

No obstante la complejidad de la situación presentada este trabajo, es posible hacer generalizaciones sobre la situación, de tal manera que sirva como una primera aproximación en el proceso de clasificación y zonificación edafoclimática. También la información colectada servirá como base de datos primarios para efectuar cálculos más refinados que contribuyan a describir con mayor precisión la situación en el futuro. La base de datos estará al alcance de las diferentes dependencias como, INIFAP, Delegación de la SARH, BANRURAL, AGROASEMEX, entre otras, quienes podrán darle otros usos que les permitan hacer estimaciones y toma de decisiones más apropiadas.

Las aplicaciones de la información colectada y analizada, nos permite establecer una zonificación y agrupamiento general de las localidades en tres categorías que se muestran en las Figuras 4 a 6. Estas corresponden a zonas con bueno, regular y mal temporal, las cuales guardan correlación con regiones de alto, mediano y bajo nivel productivo para los cultivos. Por supuesto que el alcance y correlación más efectiva estarán en función del conocimiento de las características del suelo y su ubicación topográfica en el paisaje. La incorporación de estas variables serán de gran utilidad en el futuro, para definir en cada una de las áreas el plan de acción a desarrollar. Por ejemplo, en zonas con alto nivel productivo determinar los paquetes tecnológicos que permitan su máximo aprovechamiento, analizar la rentabilidad del paquete tecnológico buscando siempre la optimización para el productor, establecer parcelas de demostración con los paquetes tecnológicos más apropiados, reorientar los programas de investigación en la búsqueda y prueba de innovaciones tecnológicas especial-

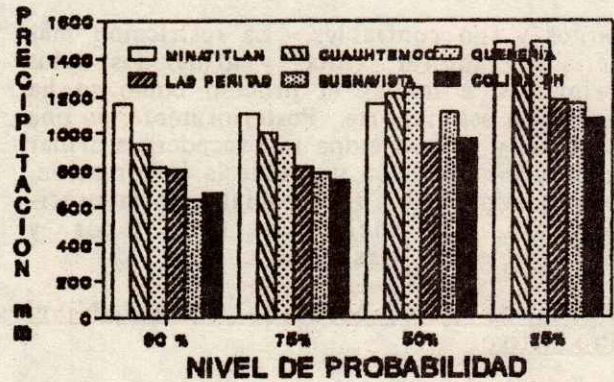


Figura 4. Zonas de buen temporal en el estado de Colima.

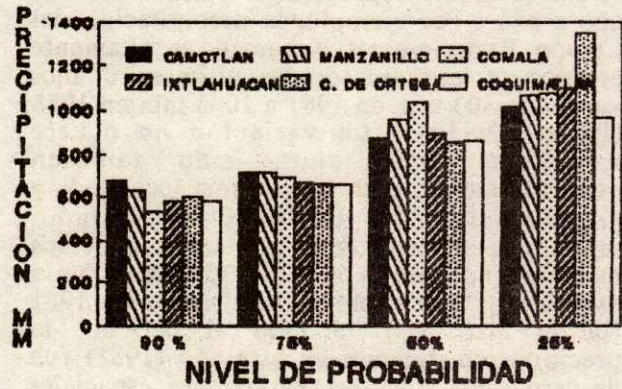


Figura 5. Zonas de regular temporal en el estado de Colima.



Figura 6. Zonas de mal temporal en el estado de Colima.

mente diseñadas, fomentar la transferencia de las tecnologías mejoradas de los productores, y fortalecer las actividades del sistema de extensión.

En zonas de mediano potencial productivo, determinar con el INIFAP el paquete tecnológico de máxima rentabilidad, establecer programas de investigación tendientes a encontrar alternativas de producción con viabilidad de mercado, definir las limitantes de producción y productividad, diseñar programas compartidos de asistencia técnica y fomentar programas de asociación en participación con los productores privados y ejidales.

En zonas de bajo potencial productivo, establecer programas de investigación que definan las alternativas de producción, inclusive análisis de cambio de uso del suelo, definir programas de apoyo del gobierno federal en asistencia técnica, infraestructura, etc.

En zonas marginadas, justificar plenamente su marginación, definir un programa de apoyo del gobierno federal e iniciar un programa de estudios tendiente a rescatar estas zonas de la marginación.

CONCLUSIONES

1. El análisis de la información permitió obtener una primera aproximación del potencial climático con base en la precipitación: zonas de bueno, malo y regular temporal.
2. La precipitación confiable (75% probabilidad) proporciona información para determinar el potencial productivo de sitios en el estado de Colima.
3. Se requiere incorporar las características del suelo para complementar la estimación del potencial, debido a que es el almacén para el suministro de agua al cultivo.

4. Las localidades con mayor potencial climático son Minatitlán, Quesería, Cuauhtémoc y Buenavista; en contraste, las localidades con mayores restricciones climáticas son Estapilla, Armería, Pueblo Juárez y Tecomán. El resto de las localidades ocupan una situación intermedia.

LITERATURA CITADA

- HARGREAVES G., H. 1975. Water requirements manual for irrigated crops and rainfed agriculture. EMBRAPA and Utah State University Publication. 75-D-158. 40 pp.
- LOPEZ A., O. y O. PEREZ Z. 1991. Evaluación de la tecnología generada por investigación para la producción de maíz y sorgo en ambientes semiáridos. XXIV Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo, Pachuca, Hgo.
- PEREZ Z., O. y C. MEJIA. 1988. Potencial agrícola de Valles Centrales de Oaxaca con base en probabilidad de lluvia. Folleto de Investigación Núm. 71. SARH-Instituto Nacional de Investigaciones Forestales y Agropecuarias. SARH, México, D.F.
- PEREZ Z., O. 1991. Suelos del estado de Colima: Origen y limitante para su manejo. Artículo en proceso de revisión editorial. Comité Editorial CIFAP-Colima.
- PEREZ Z., O. 1991a. Procesamiento y análisis de datos pluviométricos del Campo Experimental Tecomán: Análisis frecuenciales de la precipitación XXIV Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo, Pachuca, Hgo.
- SARH. 1990. Situación de la producción agropecuaria del estado de Colima. Documento de trabajo mimeografiado. SARH-CIFAP-BANRURAL-FIRA. Colima, Col., Diciembre 1990.
- SARH. 1991. II Seminario "Solidaridad y Coordinación para la Modernización del Campo". Reunión para Delegados Estatales de la SARH; Gerentes de la CNA y FIRCO y Directores Estatales de INIFAP. Centro Vacacional IMSS. Metepec, Atlixco, Pue., del 9 al 12 de enero de 1991.
- VIRMANI S., M. 1975. The agricultural climate of Hyderabad region in relation to crop planning (a sample analysis) In: House publication of ICRISAT, Hyderabad, India.

APLICACION FOLIAR DE FERTILIZANTES Y USO DE HERBICIDAS EN SORGO

Foliar Fertilization and Use of Herbicides in Sorghum

Mateo Vargas H.

Departamento de Suelos, Universidad Autónoma Chapingo,
56230 Chapingo, Méx.

Palabras clave: Fertilización foliar, Herbicidas, Sorgo.

Index words: Foliar fertilization, Herbicides, Sorghum.

RESUMEN

Se realizó un experimento en condiciones de campo, con la finalidad de determinar el efecto simultáneo de la aplicación de fertilizantes foliares y el uso de herbicidas sobre el rendimiento en grano de sorgo. El factor control de maleza se investigó a tres niveles (preemergente, postemergente y control manual) y el factor fertilización foliar se estudió para los productos FeSO_4 , phytozyme, grogreen, y sin fertilizante foliar.

En los análisis estadístico y económico, el mejor tratamiento fue la combinación de aplicación de FeSO_4 y uso de herbicida postemergente, con rendimiento promedio de grano de $9,218 \text{ kg ha}^{-1}$ y un beneficio neto de \$ 2'936,000.00 por hectárea.

SUMMARY

In order to determine the effect of foliar fertilization and the use of herbicides on yield of grain sorghum, a trial was carried out. The weed control factor was studied at three levels (preemergent, postemergent and manual control) and the foliar fertilization

was studied for the products: FeSO_4 , Phytosyme, Grogreen, and a control without foliar fertilizer.

The statistical and economic analysis show that the best treatment combination was FeSO_4 fertilizer and postemergent herbicide application, whose grain mean yield was $9.218 \text{ ton ha}^{-1}$, which represents the highest net benefit (\$2'936,000/ha).

INTRODUCCION

En la región de Salvatierra, Gto., se han observado respuestas a la aplicación de fertilizantes foliares.

El manejo tradicional del sorgo en la zona incluye el control de maleza en forma mecánica y manual, durante el ciclo de cultivo de verano se tiene necesidad de realizar hasta tres deshierbes manuales debido a que su efectividad como método de control es muy baja, esto incrementa los costos de producción y genera escasez de mano de obra. Por lo tanto la introducción y generalización del uso de herbicidas como alternativa de los problemas mencionados sería ciertamente deseable.

Aunque la raíz es el órgano especializado para la absorción, las plantas también pueden absorber nutrimentos a través de las hojas, tallos y frutos. Las hojas de las plantas son las más activas en la absorción de sustancias aplicadas, pues tienen una mayor superficie expuesta (Rodríguez, 1982).

Recibido 01-92.

Witter (1964) en un estudio con isótopos marcados, rastreó el destino final de los nutrimentos que aplicó a las hojas, distinguiéndolos de los absorbidos por las raíces, lo cual le permitió demostrar que:

- a) La absorción es generalmente más rápida y eficiente que a través de las raíces, ya que en el último caso hay pérdidas por lixiviación y fijación.
- b) Las velocidades de absorción y el grado de distribución en la planta varían considerablemente con el nutrimento aplicado.
- c) Algunos nutrimentos, como el calcio y magnesio, tienden a acumularse en las hojas después de absorbidos, pero otros como el potasio, nitrógeno y azufre, se distribuyen por toda la planta.

La fertilización foliar ha sido aceptada ampliamente como un método para prevenir y controlar deficiencias de micronutrimentos. La ventaja de las aspersiones foliares es que en menor tiempo corrige las deficiencias y es más económica que la fertilización al suelo, comparando las grandes cantidades que tienen que ser aplicadas al suelo (Alexander y Schroeder, 1987).

Lo expuesto anteriormente, sirvió como motivación para plantear el presente trabajo con los siguientes objetivos:

- a) Evaluar el empleo de fertilizantes foliares (Grogreen, Phytozime) como complemento a los aplicados al suelo, para incrementar los rendimientos de sorgo.
- b) Evaluar el uso de herbicidas con respecto al control manual y mecánico de maleza, e implementar su empleo como una alternativa más eficiente y económica.
- c) Realizar un análisis económico para evaluar la bondad de la tecnología de aplicación de fertilizantes foliares y uso de herbicidas, en relación con la tradicional.

METODOLOGIA

Para contrastar los tratamientos de aplicación de los fertilizantes foliares y del sulfato ferroso, contra un testigo (sin aplicación de fertilizantes foliares), se seleccionó un terreno de aproximadamente una hectárea.

Se utilizó un diseño de parcelas divididas en bloques completamente aleatorizados, con dos repeticiones. Como parcelas grandes se evaluó al factor herbicidas, en tres niveles (testigo sin herbicida, herbicida preemergente y herbicida postemergente), y en parcelas chicas el factor fertilizantes foliares, con cuatro niveles (testigo sin fertilizante foliar, sulfato ferroso, Grogreen, y Phytozime). La unidad experimental fue cuatro surcos de 60 m de longitud y 1.20 m entre surcos.

Las prácticas de cultivo fueron las tradicionales en la región, preparación del terreno y siembra mecanizada. El herbicida preemergente (Gesaprim 500 FW) se aplicó 3 días después del riego de emergencia y el herbicida postemergente (Agroamina), cuando la maleza tenía entre 8 y 10 cm y el cultivo entre 20 y 25 cm de altura. El testigo no se trató con ningún producto químico.

La fertilización al suelo se realizó empleando una dosis de 200-40-00, más baja de lo recomendado para el cultivo y para la zona (normalmente se usa una dosis de 280 a 300 kg N ha⁻¹ y de 80 a 90 kg de P₂O₅). Las fuentes fueron sulfato de amonio y superfosfato simple de calcio, respectivamente.

Los fertilizantes foliares se aplicaron siempre que las plantas del cultivo de sorgo mostraban síntomas visuales de deficiencias nutricionales. La primera aplicación se hizo aproximadamente un mes después de que se estableció el cultivo, cuando tenía entre 20 y 25 cm de altura. La segunda aplicación se realizó 15 días después de la primera. Para esta época el cultivo tenía entre 50 y 60 cm de altura y mostraba amarillamiento en las hojas jóvenes. La tercera aplicación se hizo aproximadamente unos 4 días antes de la floración.

Para la cosecha se utilizó como parcela útil sólo los dos surcos centrales y una longitud de 10 m por 1.20 m de distancia entre surcos, dando una superficie de 24 m².

RESULTADOS Y DISCUSION

En la Figura 1, se muestran los resultados del rendimiento promedio de sorgo en kilogramos por hectárea, para cada combinación de tratamientos de control de maleza y fertilizantes foliares. Donde se observa primeramente que, para el caso de los

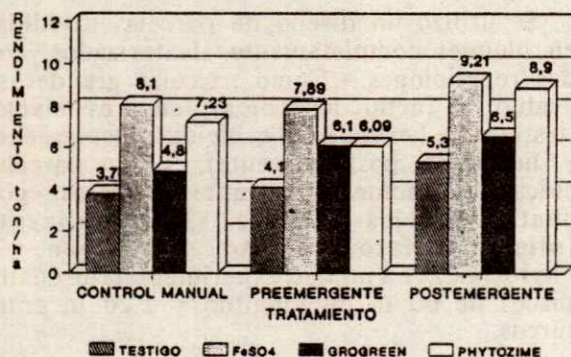


Figura 1. Rendimiento promedio de grano de sorgo.

subtratamientos (fertilizantes foliares), dentro de cada tratamiento (control de maleza), existe una diferencia marcada entre el testigo y los fertilizantes. En segundo lugar se observa que los mayores rendimientos para cada uno de los fertilizantes foliares, están asociados con el uso del herbicida postemergente.

Análisis Estadístico.

En el Cuadro 1, se muestran los resultados del análisis de la varianza, donde se observa que no existe evidencia significativa (Prob. de $F = 0.6875$) para el factor asociado con el control de maleza (Parcela Grande), por lo cual se puede afirmar que se obtiene un rendimiento en grano semejante,

independientemente de la forma de control de maleza.

Para el caso del factor parcelas chicas, se tiene evidencia significativa (Prob. de $F = 0.0001$) de que los tratamientos de fertilizantes foliares son diferentes. Para el caso de la interacción entre fertilizantes foliares y formas de control de maleza (PG x PCH), se tiene que no existe evidencia significativa (Prob. de $F = 0.5063$), por lo cual no existe efecto de interacción de los tratamientos sobre el rendimiento de grano de sorgo.

En la prueba de comparaciones múltiples para el caso de las parcelas chicas (Cuadro 2) se observa que se forman dos grupos, en el primero se tiene que el fertilizante que proporciona el mayor rendimiento es el sulfato ferroso ($8,405 \text{ kg ha}^{-1}$) seguido por el Phytozime ($7,409 \text{ kg ha}^{-1}$). Finalmente el segundo grupo está formado por el Grogreen ($5,844 \text{ kg ha}^{-1}$) y el testigo ($4,393 \text{ kg ha}^{-1}$).

Para el caso de las parcelas grandes, debido a que no existió significancia en el análisis de la varianza, no tiene sentido realizar prueba de comparación de medias, sin embargo, se puede mencionar que el mayor rendimiento promedio, se logró en la parcela grande correspondiente al empleo del herbicida postemergente ($7,499 \text{ kg ha}^{-1}$), seguido por el herbicida preemergente ($6,054 \text{ kg ha}^{-1}$), y finalmente el control manual de maleza ($5,985 \text{ kg ha}^{-1}$).

Cuadro 1. Análisis de la varianza para el rendimiento de grano de sorgo.

Fuente de variación	Grados de libertad	Sumas de cuadrados	Cuadrados medios	F Calculada
Repetición	1	6157014	6157014	8.62*
Parcela grande (PG)	2	11698011	5849005	0.45NS
Error A	2	25751442	12875721	
Parcela chica (PCH)	3	55952905	1850968	26.11***
PG x PCH	6	4072095	678682	0.95NS
Error B	9	6428962	714329	
Total	23	110060431		

* Significativo al nivel de probabilidad de 0.05

*** Significativo al nivel de probabilidad de 0.001

NS: No significativo al nivel de probabilidad de 0.10

Cuadro 2. Comparación de medias de rendimiento de grano de sorgo.

Parcela chica	Media	Agrupamiento Tukey
Sulfato ferroso	8,405.3	A
Phytosime	7,409.7	A
Grogreen	5,844.0	B
Testigo	4,393.3	B

Análisis Económico.

En el análisis de presupuesto parcial (Cuadro 3), se nota en primer lugar, que para el caso de parcelas chicas (fertilizantes foliares) dentro de cada parcela grande (control de maleza), los mayores beneficios netos están asociados a las aplicaciones de sulfato ferroso, seguidos por el Phytosime, Grogreen y finalmente el testigo. Asimismo, se tiene que para el caso de parcelas grandes, los mayores beneficios netos se obtuvieron con la aplicación de herbicida postemergente. Finalmente, el mayor beneficio neto es el correspondiente a la combinación de los dos factores mencionados, es decir, el tratamiento de aplicación del sulfato ferroso y uso de

herbicida postemergente, con un valor de \$2'936,400 por hectárea.

Por otro lado, auxiliándose del análisis de dominancia (Cuadro 4), se observa que se tienen 10 tratamientos dominados (entendiéndose por dominado, aquel tratamiento que presenta un mayor costo variable y un menor beneficio neto), los cuales pueden ser desechados, y se consideran como las mejores alternativas sólo a los dos restantes.

Cuadro 4. Análisis de dominancia, para los tratamientos de la aplicación de fertilizantes foliares y uso de herbicidas en sorgo.

Herbicida	Fertilizante foliar	Total de costos variables	Beneficios netos
Post	Testigo	215 000.00	1 644 200.00 ¹
Pree	Testigo	275 000.00	1 174 300.00 ¹
Post	FeSO ₄	290 000.00	2 936 400.00 ¹
Post	Phytosime	298 000.00	2 818 900.00 ¹
Post	Grogreen	303 000.00	1 993 800.00 ¹
Pree	FeSO ₄	350 000.00	2 411 600.00 ¹
Pree	Phytosime	358 000.00	1 774 600.00 ¹
Manual	Testigo	360 000.00	944 000.00 ¹
Pree	Grogreen	363 000.00	1 769 100.00 ¹
Manual	FeSO ₄	435 000.00	2 402 500.00 ¹
Manual	Phytosime	443 000.00	2 087 500.00 ¹
Manual	Grogreen	448 000.00	1 258 700.00 ¹

1: tratamientos dominados.

Cuadro 3. Análisis de presupuesto parcial para el trabajo de fertilizantes foliares y uso de herbicidas en sorgo, en el Ejido "El Potrero, Gto."

Parcela grande	Preemergente				Postemergente				Control manual				
	Parcela chica	Testigo	FeSO ₄	Grogreen	Phytosime	Testigo	FeSO ₄	Grogreen	Phytosime	Testigo	FeSO ₄	Grogreen	Phytosime
Rendimiento medio (kg/ha)		4340	7890	6093	6093	5312	9218	6562	8905	3728	8107	4876	7230
Beneficio bruto de campo (miles \$/ha)*		1449	2761	2132	2132	1859	3226	2296	3116	1304	2837	1706	2530
Costos (miles \$/ha)													
Fertilizante foliar		0	15	28	23	0	15	28	23	0	15	28	23
Aplicación del fertilizante foliar		0	60	60	60	0	60	60	60	0	60	60	60
Herbicida		35	35	35	35	35	35	35	35	0	0	0	0
Aplicación de herbicida		60	60	60	60	60	60	60	60	0	0	0	0
Control manual de maleza		180	180	180	180	120	120	120	120	360	360	360	360
Total costos variables (miles \$/ha)		275	350	363	358	215	290	303	298	360	435	448	443
Beneficios netos (miles \$/ha)		1174	2411	1769	1774	1644	2936	1993	2818	944	2402	1258	2087

* El precio del sorgo obtenido en el mercado es de \$ 350.00/kilogramo.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Tomando en consideración los resultados obtenidos en este trabajo, se puede concluir lo siguiente:

No existió evidencia estadística (Prob. de $F = 0.6876$) de que el empleo de herbicidas produjera un rendimiento en grano de sorgo diferente al control manual de la maleza.

Se encontró evidencia estadística significativa (Prob. $F = 0.05$) de que el sulfato ferroso causó un mayor rendimiento en grano de sorgo, que el Grogreen y Phytozime. Debido quizás a que actúa como corrector de los problemas de clorosis férrica comunes en esos suelos y para el cultivo en cuestión.

El tratamiento que reportó el mayor rendimiento de grano de sorgo (9,218 kg/ha) fue la combinación de FeSO_4 y empleo de herbicida postemergente, así como el mayor beneficio neto (\$2'936,000.00/ha).

LITERATURA CITADA

- ALEXANDER, A. and M. SCHROEDER. 1987. Modern Trends in foliar fertilization. *J. Plant Nutr.* 10: 1391-1399.
- RODRIGUEZ S., F. 1982. Fertilizantes, nutrición vegetal. A.G.T. Editor S.A. México.
- WITER, H.S. 1964. Use fertilización foliar. La Hacienda, Departamento de Horticultura, Universidad del Estado de Michigan, USA. 13-43.

MOMENTO OPORTUNO DE LA APLICACION DE AMONIO Y NITRATO PARA INCREMENTAR LA PRODUCCION DE GRANO DE TRIGO

Opportuneness of Ammonium and Nitrate Application to Increase Grain Yield in Wheat

Manuel Sandoval Villa, Gabriel Alcántar González y Juan Luis Tirado Torres

Centro de Edafología, Colegio de Postgraduados, 56230 Montecillo, Méx.

Palabras clave: Relación amonio/nitrato, Etapa fenológica, Trigo.

Index words: Ammonium/nitrate ratio, Growing stages, Wheat.

RESUMEN

Con el objeto de conocer la etapa fenológica a partir de la cual es conveniente utilizar amonio y nitrato en plantas de trigo cv Salamanca S-75 se realizó un experimento en los meses de noviembre-90 a marzo-91, bajo condiciones de invernadero sin controlar la temperatura y utilizando soluciones nutritivas con dos relaciones NH_4/NO_3 (3.5/3.5 y 2/5 me l^{-1}) para abastecer de nutrientes a las plantas a partir del trasplante, del inicio del crecimiento vegetativo, aparición de la hoja bandera y espigas y a partir de que la mayoría de las espigas han emergido completamente de la hoja bandera, esos eventos corresponden a periodos a partir de los 8, 25, 44 y 56 días después de la siembra, respectivamente. Además, se estableció un tratamiento adicional con 7 me l^{-1} de N-NO_3 durante todo el ciclo de la planta. Los resultados indican que la utilización del amonio provoca descensos en la producción cuando se aplica a plantas pequeñas, pero la adición de amonio en la fase del llenado de los granos incrementó el peso de las espigas

por arriba del tratamiento donde se aplicó 100% de N-NO_3 . Este último produjo mayor cantidad de follaje (hojas y tallos), lo cual indica que con el uso de amonio es posible incrementar el índice de cosecha. Se observó un marcado efecto depresivo sobre la producción al utilizar 50% de N-NH_4 , respecto al tratamiento con 21% de N-NH_4 bajo las condiciones climáticas de invierno. Por último, bajo las condiciones experimentales en que se llevó a cabo este estudio la concentración de nutrientes es considerablemente influenciada por la proporción de amonio utilizada y también por el periodo a partir del que se apliquen esas proporciones de N-NH_4 .

SUMMARY

An experiment was conducted under greenhouse and hydroponic conditions to determine the best timing of mixed nitrogen (NH_4 plus NO_3) application in wheat cv Salamanca S-75. Solutions containing 3.5/3.5 or 2/5 NH_4/NO_3 ratio in me l^{-1} were supplied to wheat plants at different growing stages; initial growth (8 days old), vegetative growth (25 days old), developing of flag leaf (44 days old), and at tasseling (56 days old). An additional treatment was tested with 7 me l^{-1} of N-NO_3 during all the development cycle. The results showed a decrease in grain yield when ammonium is supplied to young plants, nevertheless NH_4 addition during tasseling

Recibido 03-92.

increases dry matter of spikes compared to the plants receiving 100% N-NO₃, which produced the highest amount of aerial dry matter (leaves + stems). Ammonium utilization may improve harvest index, but in winter season no more than 2/5 NH₄/NO₃ ratio is recommended. Plant nutrient concentration was affected by the NH₄/NO₃ ratio and timing of application.

INTRODUCCION

Hay evidencias de que la aplicación del nitrógeno en forma de amonio durante la etapa reproductiva del cultivo de trigo es conveniente, ya que es de esperar que después de que el amonio es absorbido (en forma pasiva) puede, de manera inmediata, ser asimilado en las raíces (Bock, 1986). En general, la aplicación de nitrógeno reducido en los primeros estadios de crecimiento en cereales promueve el amacollamiento y crecimiento de las hojas, mientras que aplicaciones tardías hacen permanecer verde a la planta por más tiempo, y al momento de la antesis el número de espigas está asociado con la cantidad de nitrógeno y de materia seca (MS) acumulados en ese momento. Los compuestos nitrogenados indispensables para el crecimiento del grano son principalmente suministrados gracias a la hidrólisis de las proteínas de la parte aérea (65 a 80%); el resto proviene de la absorción y retranslocación proveniente de las raíces (Spiertz y De Vos, 1983).

Las experiencias sobre la aplicación de nitrógeno en el cultivo de trigo indican que la aplicación de amonio y nitrato (50/50 %) durante el período vegetativo permite obtener mayores rendimientos de grano que al usar una sola fuente durante todo el ciclo (Below y Heberer, 1990). Alexander *et al.* (1991) señalan que teóricamente es posible que con un suministro continuo de amonio se pueda lograr que las plantas ahorren energía, la cual con un abastecimiento exclusivo de N-nitrato se utilizaría en la absorción y reducción del N-NO₃ hasta N-NH₄. Además atribuyen los incrementos en producción de materia seca a un mayor tiempo de vida de la enzima ribulosa bifosfato carboxilasa (Rubisco) en las hojas de las plantas que reciben parte del nitrógeno en forma amoniacal.

Considerando que en trabajos anteriores los lapsos de estudio que se han explorado son demasiado pequeños, se planteó un trabajo donde las plantas de trigo fueron abastecidas

con mezclas de amonio y nitrato a partir de cuatro etapas de su desarrollo y adicionando un tratamiento con 100% de N-NO₃, con la finalidad de determinar a partir de que etapa fenológica es más conveniente suministrar a la planta con mezclas de nitrógeno en un ciclo de invierno (baja temperatura y luminosidad).

MATERIALES Y METODOS

Se realizó un experimento en invernadero, sin control de temperatura, durante los meses de noviembre 1990 a marzo de 1991, empleando soluciones nutritivas y plantas de trigo cv Salamanca-S-75. Los tratamientos o efecto principal se definieron por los períodos de desarrollo de la planta a partir de los cuales se utilizaron mezclas de amonio y nitrato, tales períodos fueron: (A) todo el ciclo de desarrollo de la planta; (B) después del inicio del crecimiento vegetativo acelerado, (C) a partir de que aparece la hoja bandera y las espigas y (D) después de que la mayoría de espigas emergen de la hoja bandera. Estos períodos corresponden a 8, 25, 44 y 56 días de edad, respectivamente. Antes de los períodos señalados las plantas fueron abastecidas con una solución que contenía 100% de N-NO₃. Para completar el estudio se adicionó un tratamiento con N-NO₃ durante todo el ciclo, al cual se denominó tratamiento E. Los tratamientos A, B, C y D se desarrollaron con alta y baja relación amonio/nitrato (bloques), las cuales fueron 3.5/3.5 y 2/5 (me l⁻¹). Las concentraciones de potasio, calcio, magnesio y fósforo en el medio nutritivo fueron: 7, 3, 1 y 1 me l⁻¹, respectivamente. Las soluciones se prepararon conforme a lo indicado por Sandoval (1991). Los micronutrientes se agregan de acuerdo con Hoagland y Arnon (1950) y el Fe como Fe-EDTA (Hewitt, 1966). Los cambios de solución nutritiva en promedio se hicieron cada 7 días, reponiendo a diario el agua consumida y sin corregir el pH. El suministro de aire se efectuó por medio de bombas peristálticas.

La siembra se realizó en semilleros de poliestireno el 13 de noviembre de 1990 y como sustrato se empleó agrolita, cinco días después de la emergencia de las plantas se trasladaron cuatro plántulas en cada recipiente de capacidad igual a tres litros, cada tratamiento quedó constituido por cuatro repeticiones.

Se efectuaron muestreos a los 38 y 56 días de edad, tomando una planta por maceta y el

muestreo final se realizó cuando los granos alcanzaron la madurez fisiológica (108 días), en cada caso se registró el peso seco (secado con aire forzado a 75°C durante 48 h) correspondiente a los tallos principales e hijuelos y en el muestreo final se obtuvo el peso seco de tallos hojas y espigas. Se determinaron nutrimentos de acuerdo con la metodología descrita por Alcántar *et al.* (1992).

El análisis estadístico se llevó a cabo empleando el modelo de bloques al azar generalizado, donde los bloques quedan constituidos por las dos relaciones amonio/nitrato utilizadas (3.5/3.5 y 2/5 me l^{-1}) y el efecto principal por las cuatro fechas a partir de las cuales se aplicaron las mezclas de nitrógeno. Para analizar los datos se utilizaron los procedimientos de análisis de varianza y prueba de medias por Tukey (SAS, 1985). El tratamiento E (100% de N-NO_3 en todo el ciclo) no queda incluido en el modelo, es decir, sólo es un tratamiento de referencia.

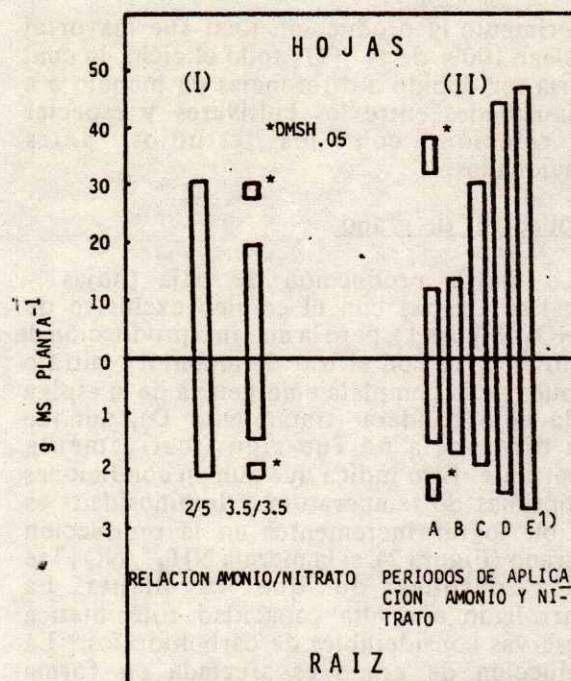
RESULTADOS Y DISCUSION

Biomasa Aérea.

Conforme las mezclas de amonio y nitrato se aplican en etapas tempranas de desarrollo, el peso seco total disminuye notablemente (Figura 1), mientras que el uso de N-NO_3 durante todo el ciclo de la planta permite obtener mayor producción de MS (tratamiento E). Se observó un considerable decremento en el peso seco total de MS obtenido de los tratamientos en que se utilizó la relación amonio/nitrato 3.5/3.5, respecto a los que recibieron la relación 2/5 (Figura 1).

Los decrementos significativos ($P < 0.05$) de producción de MS de todos los tratamientos, excepto el D, respecto al tratamiento E (Figura 1.), podrían ser causados por la interacción del uso de fracciones de N-NH_4 y la capacidad fotosintética de la planta a través de su desarrollo, lo cual sugiere que a medida que la planta se desarrolla puede absorber y asimilar más eficientemente al amonio sin sufrir daños severos.

Los efectos adversos causados a las plantas de trigo por la aplicación de amonio pueden incrementarse, si la aplicación de éste se realiza durante el invierno (baja temperatura), ya que la asimilación del amonio en la



1) 100% de nitrato durante todo el ciclo de la planta.

Figura 1. Peso seco de la parte aérea y raíz en plantas de trigo cv Salamanca S-75 por efecto de la relación amonio/nitrato (I), y el efecto de la aplicación de esas mezclas a partir de diferente edad de la planta (II); A = 8 días, B = 25 días, C = 44 días, D = 56 días y E = 0 días o nitrato todo el ciclo. Los datos de I provienen de 32 repeticiones, y los de II de 16. El tratamiento E proviene de ocho repeticiones. Los datos corresponden al muestreo final realizado a los 108 días de edad.

raíz de la planta depende de la capacidad de la misma para translocar fotosintatos a la raíz (Ganmore-Neumann y Hagiladi, 1990; Kafkafi, 1990). Tal capacidad depende, principalmente, del desarrollo alcanzado por el aparato fotosintético de la planta, el cual es más lento a bajas temperaturas (Salisbury y Ross, 1985). Por lo anterior, resultaría conveniente estudiar la respuesta del cultivo de trigo bajo diferentes condiciones climatológicas.

Los resultados en relación al tiempo de aplicación del NH_4 son similares a los descritos por Below y Heberer (1990) en trigo y por Alexander *et al.* (1991) en maíz, quienes además indican que se obtiene mayor producción al utilizar la mezcla NH_4/NO_3 , que al usar N-NO_3 todo el ciclo. Sin embargo, en ese

experimento la producción total fue mayor al emplear 100% de $N-NO_3$ todo el ciclo, lo cual podría ser debido a diferencias de manejo o a desigualdades entre los cultivares y especies en relación con los estudios antes mencionados.

Producción de grano.

La mayor producción de paja (hojas y tallos) se alcanza con el empleo exclusivo de $N-NO_3$ (Figura 1), pero la máxima producción de grano se logra con el uso de amonio y nitrato después de la completa emergencia de la espiga de la hoja bandera (tratamiento D), aunque esta diferencia no fue significativamente importante. Esto indica que aun en condiciones no óptimas de temperatura y luminosidad es factible lograr incrementos en la producción de grano (Figura 2), si la mezcla NH_4^+/NO_3^- se aplica después de que la planta ha desarrollado una alta capacidad fotosintética o reservas considerables de carbohidratos. La producción de grano es afectada en forma negativa cuando se emplea una relación amonio/nitrato elevada (Figura 2).

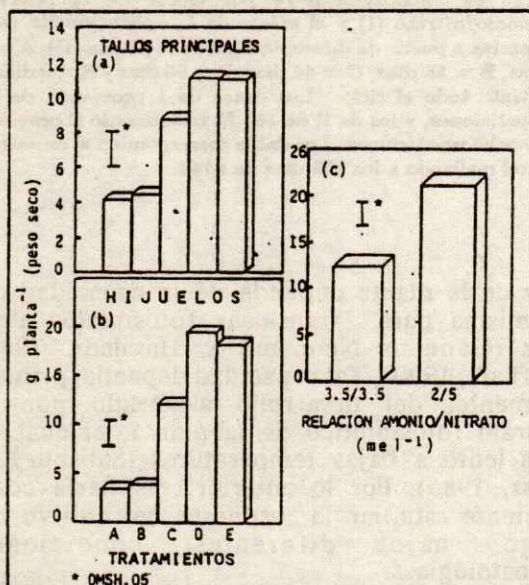


Figura 2. Efecto del período de aplicación de amonio y nitrato sobre el peso de espigas provenientes de tallos principales (a), de los hijuelos (b) y efecto de la relación amonio/nitrato (bloques) (c) en plantas de trigo. Los tratamientos A, B, C y D provienen de 16 repeticiones y el tratamiento E consta de ocho. La media de los bloques (c) se conforma de 32 repeticiones.

El efecto negativo sobre la producción total de materia seca (Figura 1) y peso del grano (Figura 2) al usar una proporción elevada de $N-NH_4$ (3.5 me l^{-1}), indica que existe una relación amonio/nitrato óptima que permite a la planta asimilar el amonio sin sufrir daños por toxicidad. Tal relación óptima se encuentra más cercana a la perteneciente a amonio/nitrato 2/5 que de la 3.5/3.5, bajo las condiciones experimentales utilizadas.

Amacollamiento e Índice de Cosecha (IC).

Bajo condiciones de invierno, el número de hijuelos productivos (NHP) y número total de hijuelos (NTH) es mayor en el tratamiento con 100% de $N-NO_3$ y disminuyen conforme se aplica la mezcla que contiene $N-NH_4$ a menor edad de las plantas (Cuadro 1). No obstante, el índice de cosecha (peso de espigas/peso total) en tallos principales (PETP/PATP), en hijuelos (PEH/PAH) y en toda la planta (PET/PAT) se incrementa en los tratamientos C y D que contienen $N-NH_4$ (Cuadro 2).

Cuadro 1. Número de hijuelos productivos (NHP) y número total de hijuelos (NTH) en plantas de trigo a los 108 días de edad (cosecha).

Tratamiento	NHP	NTH
-- Número de hijuelos --		
A	3.00	4.63
B	3.31	5.38
C	6.63	8.00
D	9.69	11.44
E	10.50	12.25
DMSH ₀₅	1.33	1.84

Cuadro 2. Índice de cosecha en tallos principales (PETP/PATP), en hijuelos (PEH/PAH) y en plantas completas (PET/PAT) de trigo a los 108 días de edad (cosecha).

Tratamiento	PETP/PATP	PEH/PAH	PET/PAT
A	0.63	0.51	0.51
B	0.63	0.48	0.49
C	0.67	0.63	0.60
D	0.69	0.67	0.64
E	0.66	0.58	0.58
DMSH ₀₅	0.04	0.07	0.05

También es posible detectar efectos negativos sobre el desarrollo de los hijuelos cuando la mezcla amonio/nitrato se aplica a partir de los primeros días de crecimiento (tratamientos A y B), ya que en estos tratamientos los tallos principales aportan mayor peso de grano. El peso de los granos se reduce al aumentar la proporción de $N-NH_4$ en la solución nutritiva (Figura 2).

Es posible incrementar el índice de cosecha y la producción de grano en el tratamiento D, respecto al E. Probablemente el incremento en la producción de grano (aunque estadísticamente no sea significativo) (Figura 2) sea causado por una mayor acumulación de N reducido en plantas abastecidas con amonio y nitrato, por lo que la planta dispondría de mayores reservas de N y probablemente de más tiempo de actividad fotosintética, al no ser necesario degradar en forma inmediata la enzima Rubisco para obtener nitrógeno reducido, el cual sería translocado hacia los granos (Alexander *et al.*, 1991; Lips *et al.*, 1990). Es posible que al suministrar $N-NH_4$ en la solución nutritiva después de la floración, la planta siga absorbiendo y asimilando el ion amonio, ya que en el tejido de las plantas de los tratamientos C y D este compuesto se encuentra en mayor cantidad (Cuadro 4).

La disminución en el número de hijuelos en los tratamientos A y B debe estar relacionada con el desarrollo del aparato fotosintético y enzimático, indispensable para asimilar el amonio, que en condiciones de baja temperatura y luminosidad presentan escasas posibilidades de éxito debido a que disminuye la absorción neta de CO_2 (Salisbury y Ross, 1985). Para asimilar el amonio se requiere que la planta envíe carbohidratos a la raíz que de otro modo podría utilizar en su crecimiento. Por esta razón, si a las plantas pequeñas se les suministra con amonio puede ocurrir una toxicidad (Givan, 1979), y una disminución de la concentración de azúcares solubles (Chaillou *et al.*, 1986), provocando finalmente un desequilibrio metabólico en la planta y en consecuencia una caída en la producción de MS, lo cual podría ser el caso de los tratamientos A y B.

Concentración de Nutrientos

La concentración de nutrientes es fuertemente influenciada por la relación amonio/nitrato utilizada (Cuadro 3) al menos

para los iones potasio y azufre. El tiempo que las plantas permanecieron con la mezcla de amonio y nitrato también afectó en forma considerable la concentración de nutrientes (Cuadro 4); la concentración de aniones se incrementó en los tratamientos A y B, y la de nitrógeno en estas plantas fue la más alta, lo cual indica que se debe a un efecto inverso de dilución, ya que estas plantas produjeron poca MS (Figura 1), mientras que las plantas de los tratamientos D y E alcanzaron producciones elevadas y baja concentración de nitrógeno total (Cuadro 4). Sólo el nitrógeno reducido no manifiesta efecto de dilución, ya que en el tratamiento con elevada producción y un alto IC, éste se presenta con alta concentración. Por lo tanto, en algunos casos es conveniente emplear otra expresión del nitrógeno total, como la acumulación total.

Cuadro 3. Concentración de nutrientes en parte aérea de plantas de trigo por efecto de la relación amonio/nitrato utilizada.

Relación amonio/nitrato	Potasio		Azufre	
	108 días	38 días	56 días	108 días
$mg\ l^{-1}$	$mg\ g^{-1}$			
3.5/3.5	38.79	6.34	8.94	2.66
2.0/5.0	46.55	7.17	5.43	1.74
DMSH .05	2.55	0.61	1.60	0.25

En el Cuadro 4 puede apreciarse como la concentración de nitrógeno reducido está asociada con un IC elevado (Cuadro 2, tratamientos C y D), lo cual podría indicar que en la medida que existen adecuadas concentraciones de nitrógeno reducido a nivel foliar, es posible que se dé mayor acumulación y retranslocación de compuestos de nitrógeno y carbono hacia el grano.

La concentración de azufre en el tejido disminuye con la edad (Walmort y Summer, 1985), pero se acumula en los tratamientos con largos períodos de abastecimiento con amonio (tratamientos A y B), lo cual según Kirkby y Knight (1977) tiene como función balancear el exceso de cargas positivas provocadas por la absorción del amonio. El efecto esperado del amonio sobre el incremento en la concentración del fósforo no es inmediato, puesto que en 38

Cuadro 4. Concentración de nutrimentos en parte aérea de plantas de trigo por efecto de la época a partir de la que se abasteció a las plantas con amonio y nitrato.

Trata- miento	Fósforo		Azufre		N total 108 d	N reducido 108 d
	56 d	108 d	56 d	108 d		
	----- mg g ⁻¹ -----					
A	4.26	6.98	9.30	2.33	21.91	2.52
B	4.29	5.30	9.25	2.18	21.89	2.94
C	3.88	3.22	5.30	2.08	14.10	3.95
D	3.52	2.25	5.27	2.20	12.30	3.42
E	3.58	2.18	3.43	1.02	15.12	1.89
DMSH _{.05}	0.94	1.74	3.03	0.56	6.04	1.02

días la concentración de fósforo no indica diferencias significativas, las cuales si se manifiestan en el muestreo realizado a los 108 días, la causa de la respuesta tardía podría ser la baja velocidad de absorción del fósforo y que como constituyente del material vegetal apenas alcanza concentraciones de 3 a 5 mg g⁻¹ de material seco (Marschner, 1986).

CONCLUSIONES

De los resultados presentados en este estudio, es posible indicar que solamente después de que emerge completamente la espiga de la hoja bandera es conveniente emplear pequeñas fracciones de amonio para favorecer la producción de grano. Aplicaciones de N bajo alta relación amonio/nitrato no son convenientes.

LITERATURA CITADA

- ALCANTAR, G. G., J. L. TIRADO T. y S. ALCALDE B. 1992. Análisis químico vegetal, una herramienta de diagnóstico. Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo. Montecillo, México. En prensa.
- ALEXANDER, K.G., M.H. MILLER, and E.G. BEAUCHAMP. 1991. The effect of an NH₄⁺-enhanced nitrogen source on the growth and yield of hydroponically grown maize (*Zea mays* L). J. Plant Nutr. 14:31-44.
- BELOW, F.E. and J.A. HEBERER. 1990. Time of availability influences mixed-nitrogen-induced increases in growth and yield wheat. J. Plant Nutr. 13:667-676.
- BOCK, B.R. 1986. Increasing cereal yields with higher ammonium/nitrate ratios: Review of potentials and limitations. J. Environ. Sci. Health, A21:723-758.
- CHAILLOU S., J.F. MOROT-GAUDRY, L. SALSAC, C. LESAINT, and E. JOLIVET. 1986. Compared effects of NO₃⁻ and NH₄⁺ on growth and metabolism of French bean. Physiol. Vég. 24:679-687.
- GANMORE-NEUMANN and A. HAGILADI. 1990. Effect of the NO₃⁻/NH₄⁺ ratio in nutrient solution on *Pelargonium* stock plants: yield and quality of cuttings. J. Plant Nutr. 13:1241-1256.
- GIVAN, C. 1979. Metabolic detoxification of ammonia in tissues of higher plants. Phytochemistry 18:375-382.
- HEWITT, E.J. 1966. Sand and water culture methods used in the study of plant nutrition. Commonwealth Agricultural Bureaux Great Britain.
- HOAGLAND, D.R. and D.I. ARNON. 1950. The water-culture method for growing plants without soil. Circ. 347. Berkeley Calif. Agric. Exp. Station, Univ. of Calif.
- KAFKAFI, U. 1990. Root temperature, concentration and the ratio NO₃⁻/NH₄⁺ effect on plant development. J. Plant Nutr. 13:1291-1306.
- KIRKBY, E.A. and A.H. KNIGHT. 1977. The influence of the level of nitrate nutrition on ion uptake and assimilation, organic acids accumulation and cation-anion balance in whole tomato plant. Plant Physiol. 60: 349-353.
- LIPS, S.H., E.O. LEIDI, M. SILBERBUSH, M.I.M. SOARES, and O.E.M. LEWIS. 1990. Physiological aspects of ammonium and nitrate fertilization. J. Plant Nutr. 13: 1271-1289.
- MARSCHNER, H. 1986. Mineral nutrition of higher plants. Academic Press, Inc., London.
- SALISBURY, F.B. and C.W. ROSS. 1985. Plant Physiology. Wadsworth Publishing Company. Belmont, California.
- SANDOVAL, V. M. 1991. Efecto de diferentes relaciones amonio/nitrato sobre el cultivo de trigo (*Triticum aestivum* L. cv Salamanca S-75). Centro de Edafología, Colegio de Postgraduados, Montecillo, México. Tesis de Maestría en Ciencias.
- SAS Institut Inc. 1985. SAS/STAT Guide for personal computers, version 6 edition. Cary, N. C., U. S. A.
- SPIERTZ, J.H.J. and N.M. DE VOS. 1983. Agronomical and physiological aspects of the role of nitrogen in yield formation of cereals. Plant and Soil 75: 379-391.
- WALWORT, J.L. and M.E. SUMMER. 1987. The diagnosis and recommendation integrated system (DRIS). Advances in Soil Science 6: 149-188.

EFFECTO DE LA IRRIGACION SOBRE CARACTERES AGRONOMICOS DEL PIMIENTO MORRON CON ACOLCHADO PLASTICO

Irrigation Effects on Agronomic Traits of Bell Pepper Grown on Plastic Mulch

J. Luis Ibarra y G. Márquez L.

Centro de Investigación en Química Aplicada, Saltillo, Coahuila

Palabras clave: Acolchado, Irrigación, *Capsicum annuum* L., Componentes de rendimiento.

Index words: Plastic mulching, Irrigation, *Capsicum annuum* L., Yield components.

RESUMEN

Los tratamientos acolchado y no acolchado fueron combinados factorialmente con cuatro frecuencias preestablecidas de riego: cada 7 (IF), 9 (IM) y 11 (IR) días y mediante la metodología del tanque evaporimetro de clase "A" (IEvC) en los tratamientos testigos. Los acolchados se regaron cuando alcanzaron el mismo contenido de humedad que su correspondiente testigo.

El acolchado presentó diferencias significativas con relación al testigo en las variables: cobertura, rendimiento comercial y total. Los criterios de riego tuvieron un comportamiento significativamente diferente en rendimiento comercial y total. Los tratamientos con frecuencia de 7 días y testigo registraron un ahorro de uno y tres riegos por efecto del acolchado. Los resultados del estudio sugieren disminuir los coeficientes de cultivo en 14.3 (0.4 vs 0.35), 10.3 (0.75 vs 0.68) y 11.1% (1.10 vs 0.99) en las primeras

tres etapas del cultivo; en cambio, en la última deberá aumentarse en 12.6% (0.95 vs 1.07) por efecto de acolchado.

SUMMARY

Two treatments: mulching and bare soil were factorially combined with four irrigation treatments: frequent irrigation (every 7 days), medium irrigation (every 9 days), retarded irrigation (every 11 days) and by the evaporimeter type A FAO method (Doorenbos and Pruitt, 1976). Mulched treatments were irrigated at the soil moisture content of its correspondent control.

Mulching presented a significant effect on: plant covering, commercial and total yield. Irrigation treatments presented a significant effect on commercial and total yield. The treatments IF and IEvC with plastic mulching reduced the number of irrigations. The study suggest to decrease crop's coefficient by 14.3 (0.4 vs 0.35), 10.3 (0.75 vs 0.68) and 11.1% (1.10 vs 0.99) for the three stages of growth; for the last stage it is suggested to be increased by 12.6% (0.95 vs 1.07) due to the mulching effect.

INTRODUCCION

Las relaciones entre agua, suelo, planta y atmósfera son complejas, e

Recibido 04-92.

involucran procesos químicos, físicos y biológicos. Se dispone de información respecto a dichas relaciones para las prácticas de manejo tradicionales (Castilla *et al.*, 1984). Sin embargo, tal información resulta impráctica, cuando se emplea el acolchado de suelo, por la barrera antievaporante de humedad que crean los plásticos.

Se han generado metodologías que permiten predecir el uso consuntivo del cultivo, mas no con acolchado en suelo desnudo, por lo que es importante adecuar metodologías para condiciones de acolchado de suelo. El presente estudio propone como objetivo: elaborar normas para determinar el momento oportuno del riego, cuando se emplea acolchado de suelos en combinación con la metodología del evaporímetro clase "A", así como para frecuencias de riego de 7, 9 y 11 días.

MATERIALES Y METODOS

El experimento de campo fue establecido en el Centro de Investigación en Química Aplicada (CIQA), en suelo limo-arenoso de 0-30 cm de profundidad y arcillo-arenoso de 30-60 cm. La calidad del agua utilizada fue $C_3 S_1$.

La plantación se efectuó con la variedad Yolo Wonder L, el 15 de mayo de 1987. Los surcos se espaciaron 1.50 m con dos hileras de plantas, obteniéndose 33,333 plantas ha^{-1} . Cada unidad experimental constó de tres surcos, utilizando el central como parcela útil, con un total de 14 plantas.

Cada unidad experimental recibió una fertilización inicial 100-100-100 de $N-P_2O_5-K_2O$, más 100 unidades de nitrógeno en forma de urea al inicio de la floración.

El diseño experimental utilizado fue de parcelas divididas con cuatro repeticiones. Cada repetición fue separada en dos parcelas grandes: a) acolchado y b) testigo. Las parcelas grandes fueron divididas en cuatro parcelas chicas (criterios de riego). Las subparcelas en el testigo fueron: 1) irrigación frecuente (IF, cada 7 días); 2) irrigación media (IM, cada 9 días); 3) irrigación retardada (IR, cada 11 días) y 4) irrigación con base en la metodología del evaporímetro clase "A" (IEvC).

Cada parcela acolchada recibió el riego en el momento en que se obtuvo el mismo contenido de humedad que en su testigo correspondiente, cada tratamiento acolchado se regó al mismo contenido de humedad aprovechable en relación con su testigo. Lo anterior es posible, ya que el suelo acolchado retarda el suministro de agua por la barrera antievaporante que crean los plásticos. Para determinar el contenido de humedad en el suelo, se empleó el método gravimétrico.

Cada tratamiento se regó con poliducto plástico de tres cuartos de pulgada, conectado a una llave de paso. Considerándose para cada riego una aplicación promedio de 46 mm, dado que el déficit de agua en cada tratamiento tiende a emplear diferente número de litros en cada riego. Para el cálculo de la lámina de agua usada se consideró el largo y ancho de cada parcela experimental.

Para contabilizar la precipitación pluvial se realizaron balances hídricos diarios, en cada uno de los cuatro testigos. Se consideró como precipitación pluvial efectiva, aquella superior a 2 mm, y se contabilizó solamente el 80% de la precipitación pluvial.

Con la finalidad de ajustar la metodología del evaporímetro de tanque a la del acolchado de suelo, se emplearon los coeficientes de cultivo dados para suelo desnudo por Doorenbos y Pruitt (1976), tales valores fueron: 0.4 para la etapa inicial del cultivo, 0.75 para la etapa de desarrollo, 1.1 para la etapa intermedia del cultivo y de 0.95 para la etapa final. La duración de cada etapa fue de 30, 30, 35 y 22 días después del trasplante, respectivamente, lo que supone un ciclo vegetativo de 117 días. Con base en el consumo de 46 mm y un contenido de humedad (P_w) previo al riego en el testigo, se determinó el momento del riego en el suelo acolchado, se procuró que ambos P_w , coincidieran.

De acuerdo con el consumo de agua promedio de riegos y una determinada evaporación, se obtuvo para cada período los coeficientes de cultivo (K_c) = Consumo neto/ETP (evapotranspiración). El análisis de desarrollo del cultivo se comenzó a los 36 días después de la plantación, algunos tratamientos iniciaron la floración, dato obtenido cuando el 50% de las plantas, en cada parcela útil, mostraron botones florales abiertos. Para

obtener los datos de altura de planta, diámetro de tallo y cobertura, se tomó como base que en cada tratamiento se hubiese iniciado la recolección, para proporcionar una igualdad en la fase fenológica, ya que es sabido que el acolchado anticipa el inicio de la cosecha (Salgado, 1986). El rendimiento fue dividido en tres clases: comercial, rezaga y total. En la rezaga están incluidos dos tipos de fruto: con daño por barrenillo (*Anthonomus eugenii*) y por daño de sol. El período de recolección fue de 70 días, con intervalos de corte de 7. Una vez cuantificado el rendimiento total de la parcela útil y el número de frutos, se obtuvo el peso medio fruto⁻¹. Los kg parcela útil⁻¹ fueron transformados a t ha⁻¹.

Para el acolchado se utilizó polietileno negro de 1.50 m de ancho por 40 micras de espesor.

RESULTADOS Y DISCUSION

Criterio de Riego.

En el Cuadro 1 se muestran los cuadrados medios de los análisis de varianza para el factor riego (B). Los caracteres días a inicio de floración, inicio de la recolección, diámetro de tallo, cobertura, peso por fruto y rezaga no mostraron diferencias significativas. Los rendimientos comercial y total mostraron diferencia significativa ($P < 0.01$) entre criterios de riego. No hubo interacción (A x B) para ninguno de los parámetros estudiados, lo cual significa, que

los criterios de riego tuvieron un mismo efecto en los componentes de desarrollo y rendimiento en los tratamientos de acolchado y testigo.

El inicio de la floración en IEvC e IR fue de 39 días, comparados con 37 y 42 en IM e IF, respectivamente (Cuadro 2). Los días a inicio de cosecha en IM e IF registraron el menor valor con 47 días, los tratamientos IR e IEvC promediaron 52 y 49 días; lo cual significa que los tratamientos regados con menor frecuencia, empezaron a producir después que los de mayor frecuencia de riego.

La cobertura no fue afectada en forma significativa por el criterio de riego ($P < 0.05$), no obstante al relacionar los valores de cobertura con los de agua usada se observa que los tratamientos de menor cobertura (IR e IEvC) son también los que emplearon menos agua. Los valores de diámetro de tallo no siguieron una tendencia con relación al agua usada.

El peso medio por fruto es una componente poco sensible al suministro de agua, el valor medio fue de 114.6 g y 114.7 g en IF e IM, mientras en IR e IEvC promediaron 110.2 y 109.9 g, estos últimos valores representan un decremento de 4.5 y 4.8 g, con relación a IM.

El rendimiento total fue de 62 y 61 t ha⁻¹ en IF e IM, respectivamente; el rendimiento en IR e IEvC fue de 48 y 50 t ha⁻¹ (Cuadro 2). Los dos últimos tratamientos presentan un decremento del 30 y 24.7%, con relación al tratamiento IF que registró el mayor valor.

Cuadro 1. Análisis de varianza y cuadrados medios de los componentes de desarrollo y rendimiento de pimiento, en suelo con y sin acolchado y cuatro criterios de suministro de agua.

FV	gl	Inicio floración	Inicio cosecha	Diámetro tallo	Cobertura	Peso medio fruto	Rendimiento		
							Comercial	Rezaga	Total
Bloques	3	129.37 NS	159.95 NS	0.017 NS	0.0003 NS	51.73 NS	9.11 NS	1.14 NS	29.59 NS
Acolchado (A)	1	666.12 NS	520.03 NS	0.060 NS	0.0105 *	137.69 NS	2034.10 *	1.57 NS	2608.12 *
E (a)	3	84.71	63.11	0.083	0.0007	32.39	126.65	3.03	121.24
Riego (B)	3	30.54 NS	39.20 NS	0.022 NS	0.0013 NS	57.91 NS	447.37 **	0.93 NS	449.02 **
A x B	3	1.21 NS	14.86 NS	0.010 NS	0.0002 NS	10.93 NS	15.58 NS	0.79 NS	22.99 NS
E (b)	18	34.12	26.42	0.018	0.0006	37.70	45.74	0.90	47.34

NS = No significancia

* = Significancia al 0.05 de probabilidad

** = Significancia al 0.01 de probabilidad

Cuadro 2. Efecto de la irrigación en caracteres agronómicos del pimiento con acolchado.

Riego ¹⁾	Suelo	Inicio		Diámetro tallo	Cobertura	Agua consumida	Peso medio fruto	Rendimiento			Eficiencia del agua
		Floración	Cosecha					Comercial	Rezaga	Total	
		días	días	cm	m ²	cm	g	t ha ⁻¹			kg m ⁻³
IF	Acolchado	38	43	1.33	0.184	71.1	115.5	69.9	2.6	72.6	10.2
	Testigo	46	52	1.20	0.152	80.0	113.8	50.6	2.4	53.1	6.6
	Promedio	42	47	1.26	0.168	75.5	114.6	60.2	2.5	62.8	8.4
IM	Acolchado	33	44	1.24	0.195	66.5	117.0	65.4	2.6	68.1	10.2
	Testigo	42	50	1.08	0.144	68.3	112.5	52.4	2.6	55.1	8.0
	Promedio	37	47	1.16	0.169	67.4	114.7	58.9	2.6	61.6	9.1
IR	Acolchado	35	46	1.17	0.162	53.2	111.8	54.2	4.0	58.2	10.9
	Testigo	44	58	1.15	0.127	54.5	108.6	35.7	2.6	38.4	7.0
	Promedio	39	52	1.16	0.144	53.8	110.2	45.0	3.3	48.3	9.0
IEvC	Acolchado	34	46	1.25	0.162	50.7	113.4	57.5	2.8	60.3	11.9
	Testigo	44	52	1.22	0.136	53.9	106.4	40.4	2.5	40.4	7.5
	Promedio	39	49	1.23	0.149	52.3	109.9	48.9	2.7	50.3	9.6
Promedio de acolchado		35	45	1.25	0.176	60.4	114.5	61.7	3.0	64.2	10.8
Promedio de testigo		44	53	1.16	0.140	64.2	110.3	44.8	2.6	46.7	7.3
DMS (0.05) para comparación entre acolchado y testigo.		NS	NS	NS	0.030	ND	NS	12.6	NS	12.3	ND
DMS (0.05) para comparación entre criterios de riego.		NS ²⁾	NS	NS	NS	ND	NS	7.105	NS	7.228	ND

1) IF = Irrigación frecuente

IM = Irrigación media

IR = Irrigación retardada

IEvC = Irrigación con base en la metodología del evaporímetro de tanque clase "A".

2) NS, ND = No significancia y No determinada

El rendimiento comercial guardó la misma relación que el total con valores de 60 y 58 t ha⁻¹ para IF e IM, el rendimiento en IR e IEvC fue de 45.027 y 49 t ha⁻¹. Esto representa un decremento de 33 y 23% con relación a IF. Existe una tendencia a la simetría entre estos dos decrementos y los del total que fueron de 30 y 25. Una de las razones para esa tendencia la constituye el producto de rezaga, que fue relativamente similar con 2.5, 2.6 y 2.7 t ha⁻¹ para IF, IM e IEvC, respectivamente, 22.9% superior en IR con relación a IEvC, que registró el mayor valor. La rezaga como fue mencionado, contiene dos tipos de frutos: dañados por el sol y por *Anthonomus eugenii*. Tales daños podrían disminuirse con aplicaciones más frecuentes de insecticidas y reduciendo la recolección a cada 4 días, en lugar de cada siete.

El mayor uso eficiente del agua correspondió a IEvC, con 9.6 kg m⁻³. La irrigación media, que asume una evapotranspiración de 5.7 mm diarios, presentó un valor de eficiencia de 9.2 kg m⁻³, IR e IF registraron 7.0 y 14.4%,

respectivamente, menos kilogramos de retorno con relación a IEvC, que presentó el mayor valor.

La lámina de agua usada fue de 75.6, 67.4, 53.8 y 52.3 cm en IF, IM, IR e IEvC, respectivamente. IF usó en promedio la mayor lámina de agua y tuvo la menor eficiencia de uso, lo cual indica que con riegos frecuentes no se obtienen una alta eficiencia en el uso del agua, sino que, para lograr un uso más eficiente, ésta deberá aplicarse con base en la evaporación diaria, un coeficiente de tanque y un coeficiente de cultivo, lo que puede lograrse con el tratamiento IEvC.

Comparación entre Acolchado y Testigo.

Los caracteres inicio de floración, inicio de cosecha, diámetro de tallo, peso medio por fruto y la rezaga (Cuadro 1) no fueron significativamente afectadas por los tratamientos, no obstante, los cuadrados medios del factor acolchado (A) fueron mayores que los del error

tipo (a), excepto en el carácter diámetro de tallo. La cobertura, el rendimiento comercial y total mostraron significancia ($P < 0.05$), lo que indica una fuerte influencia del acolchado en la expresión de tales caracteres.

En el Cuadro 2, se presentan los componentes de desarrollo del pimiento. El carácter inicio de floración en suelo acolchado se anticipó con relación al testigo en 8, 9, 9 y 10 días en IF, IM, IR e IEvC, respectivamente. El inicio de la floración en el testigo ocurrió a los 46 y 42 días en IF e IM, en tanto que IR e IEvC promediaron 44 días.

La anticipación a cosecha con el uso de acolchado fue de 8 días promedio en los cuatro criterios de riego (45 vs 53 días); el intervalo más corto entre suelo con y sin cobertura plástica ocurrió en IM e IEvC, con 6 días de diferencia, el mayor intervalo ocurrió en IR con 12 días, IF registró 12 días de diferencia; contrariamente, IM mostró la mayor diferencia entre acolchado y testigo en el diámetro de tallo y cobertura, con valores de 0.16 cm y 0.51 m², respectivamente. Tales valores no guardan ningún grado de asociación con la diferencia en lámina de agua usada entre acolchado y testigo, la cual fue de 8.9, 1.8, 1.3 y 3.2 cm, para IF, IM, IR e IEvC, correspondientemente.

Anticipación a cosecha por efecto de acolchado, mayor diámetro de tallo y cobertura de planta han sido reportados por Ibarra y Quezada (1987) en pimiento. Estos autores argumentan un efecto herbicida del plástico negro, incremento en la temperatura del suelo, un mejor aprovechamiento de nutrimentos, mejoramiento en la estructura del suelo y mayor conservación de la humedad, lo que consecuentemente les permitió ahorrar agua.

El incremento en la producción con el uso de acolchado, con relación al testigo en IF, IR e IEvC fue relativamente similar con 19.5, 19.4 y 19.8 t ha⁻¹, en cambio, en IM, solamente se incrementó en 12.7 t ha⁻¹. La razón para la falta de similitud la constituye el hecho de que el testigo ocupó el primer lugar en rendimiento en IM, con 55.1 t ha⁻¹; en cambio, el acolchado en ese mismo criterio de riego ocupó el segundo lugar con 68.1 t ha⁻¹. El incremento en la producción promedio de los cuatro criterios de riego por efecto del acolchado fue de 17.5 t ha⁻¹ en producción total y 16.9 t ha⁻¹ en producción comercial.

Incrementos en la producción por efecto de acolchado en pimiento han sido reportados también por Salgado (1986) e Ibarra y Quezada (1987).

El número de riegos de auxilio en los tratamientos testigos fue de 13, 9, 7 y 8 en IF, IM, IR e IEvC, respectivamente, y en los tratamientos acolchados fueron 10, 9, 7 y 7 (datos no mostrados). Tales resultados reflejan el ahorro de tres riegos en IF y de uno en IEvC, no existiendo ahorro alguno en IM e IR. La información presentada nos indica que el mayor ahorro de agua ocurrió en el período más frecuente de riego, representado por IF, lo que hace suponer que el acolchado permite el ahorro, en aquellos períodos más continuos de riego, aunque la tendencia es proporcional, para riegos menos frecuentes, espaciados regularmente. El ahorro es debido a que las películas de plástico conservan por más tiempo la humedad del suelo (Ibarra y Rodríguez, 1991).

El suelo acolchado registró el uso más eficiente del agua en el tratamiento IEvC, con 11.9 kg m⁻³ y una lámina de agua consumida de 50.7 cm, el suelo desnudo (testigo) lo hizo en IM (Irrigación media), con 8.07 kg m⁻³ y una lámina de agua de 68.3 cm, lo que indica un aumento de 3.8 kg m⁻³ (47.5%) de retorno adicional al utilizar el acolchado de los suelos. Significa también que la cobertura plástica del suelo requirió 14.6 cm de lámina menos que el suelo desnudo.

Ajuste de los Coeficientes de Cultivo en Suelo Acolchado.

En el Cuadro 3, se muestra la información necesaria para deducir los coeficientes de cultivo en suelo desnudo y acolchado, sobre el cultivar Yolo Wonder L, ciclo mayo-septiembre, conducido a dos hileras de plantas por cama. Los coeficientes de cultivo (Kc) están detallados por períodos para un ciclo vegetativo de 117 días.

El Kc inicial en suelo acolchado disminuyó en 14% (0.40 vs 0.35), con relación al testigo y es correspondió al período comprendido entre el trasplante, hasta el inicio de la floración. En el segundo período, de 31 a 60 días, el suelo acolchado tuvo un Kc 10% menor que el testigo que requirió un Kc = 0.75. En el tercer período de 61 a 95 días, el suelo acolchado redujo el Kc en 11%, pues mientras que el testigo empleó un Kc = 1.1, el

Cuadro 3. Consumo neto, evaporación y coeficientes de cultivo, deducidos para cuatro etapas del cultivo de pimiento morrón en suelo con y sin acolchado.

Período (días)	Consumo neto (mm)		Evaporación (mm) directa	Testigo	Kc Acolchado
	Testigo	Acolchado			
1 - 30	77.40	67.20	242.90	0.40	0.35
31 - 60	138.10	125.10	230.10	0.75	0.68
61 - 95	217.70	195.30	247.40	1.10	0.99
96 - 117	106.60	119.20	140.30	0.95	1.06
Total	539.80	506.80	860.70		

$$Kc = \frac{\text{Consumo neto}}{\text{Etp}} ; \text{Etp} = \text{Evaporación} \times 0.8$$

0.8 = Valor asignado al coeficiente de tanque.

acolchado mostró $Kc = 0.99$. En el último periodo, de los 96 a 117 días, el acolchado requirió 0.12 (12%) unidades adicionales a las del testigo, que empleó un $Kc = 0.95$.

CONCLUSIONES

El acolchado anticipó la cosecha en 8 días promedio, el intervalo entre criterios de riego varió de 6 a 12 días.

El acolchado incrementó la producción total en 18 t ha^{-1} y en 17 t ha^{-1} la producción comercial, con respecto al testigo.

El sistema tradicional de cultivo produjo con la metodología IM el mayor rendimiento: 55 t ha^{-1} . Asimismo, dicho tratamiento en tal metodología registró el mayor uso eficiente del agua con 8.07 kg m^{-3} , con una evapotranspiración diaria de 5.83 mm. El suelo acolchado registró el mayor rendimiento con la metodología IF; 72.607 t ha^{-1} ; para lograr ese rendimiento se requirió una evapotranspiración de 6.08 mm día^{-1} . En cambio, el acolchado con la metodología IEvC mostró el mayor uso eficiente del agua con 11.90 kg m^{-3} . El ahorro de agua al utilizar el acolchado varió desde 1.3 a 8.9 cm.

El estudio sugiere que al utilizar el acolchado con la metodología IEvC, los coeficientes de cultivo (Kc) deberán ser disminuidos en 14.3, 10.3 y 11.1% en las

primeras tres etapas del cultivo, correspondientemente. En cambio, en la última deberá ser aumentado en 12%.

AGRADECIMIENTO

Los autores agradecen al M.C. Juan Munguía López, del Centro de Investigación en Química Aplicada, la derivación de los coeficientes de cultivo del presente estudio.

LITERATURA CITADA

- CASTILLA, P.N., F. BRETONES C., J.I. MONTERO C., E. FERRERES C., A. MARTINEZ R., M. JIMENEZ G. y E. GUTIERREZ DE R. 1984. Necesidades de agua de los principales cultivos en los invernaderos de la costa de Almería. Horticultura: 17.
- DOORENBOS, J. y W.O. PRUITT. 1976. Las necesidades de agua de los cultivos. Estudio FAO: Riego y Drenaje No. 24. FAO, Roma.
- IBARRA, J.L. y A. RODRIGUEZ P. 1991. Acolchado de suelos con películas plásticas. Editorial Limusa. México, D.F.
- IBARRA, J.L. y G. QUEZADA G. 1987. Reporte de actividades agrícolas. Centro de Investigación en Química Aplicada. División Tecnología de Plásticos. Saltillo, Coahuila.
- SALGADO, V.J. 1986. Evaluación de cinco cultivares de chile pimiento morrón *Capsicum annuum* L. bajo el sistema de acolchado plástico. Universidad Autónoma Agraria "Antonio Narro", Saltillo, Coahuila (Tesis de Licenciatura).

COMPARACION DE PROCEDIMIENTOS ESTADISTICOS PARA LA SELECCION DE METODOS QUIMICOS DE DIAGNOSTICO DE LA FERTILIDAD DEL SUELO

Comparison of Two Statistical Procedures for Selecting Appropriate Chemical Soil Tests for Soil Fertility Evaluation

M. Edna Alvarez S. y Jorge D. Etchevers B.

Universidad Autónoma Chapingo, Colegio de Postgraduados

Palabras claves: Métodos químicos de nitrógeno y fósforo aprovechables, Índices de respuesta, Correlación, Análisis de regresión.

Index words: Chemical methods to determine available nitrogen and phosphorus, Response indexes, Correlation, Regression analysis.

RESUMEN

Se comparó las técnicas estadísticas de correlación y análisis de regresión empleadas en la selección de métodos químicos. Para ello, se tomó como referencia un trabajo de correlación de métodos de nitrógeno aprovechable que involucra ensayos de invernadero con dos especies vegetales y, otro, que proporciona información sobre la selección de métodos de fósforo disponible basada en experimentos de campo.

La técnica de correlación consistió en asociar los resultados de la extracción de nitrógeno y de fósforo en el laboratorio, por varios métodos, con algunos índices de respuesta de los cultivos a la aplicación de fertilizantes nitrogenados y fosforados, medidos en condiciones de invernadero. La técnica de regresión consistió en ajustar diversos modelos de regresión a los mismos datos. En los modelos de regresión se

empleó el fósforo extractado o la determinación de nitrógeno como variable independiente y, en el caso del fósforo, además se usaron las variables pH, materia orgánica y arcilla.

La comparación de los procedimientos estadísticos empleados en ambos experimentos demostró, que no existen ventajas netas que permitan asegurar que el empleo de técnicas de regresión produzcan información cualitativamente distinta a la técnica de correlación, cuando se trata de seleccionar métodos de diagnóstico del estado nutricional de nitrógeno y fósforo en el suelo, en condiciones de invernadero.

SUMMARY

A comparison of the statistical techniques of correlation and regression analysis used to select chemical methods for evaluating plant nutrient availability was performed. Data from an experiment on selection of methods for predicting available nitrogen for wheat and barley (carried out under greenhouse conditions) and from a second study which objective was to select method to predict phosphorus availability (conducted under field conditions) were used.

The correlation technique was used to associate nitrogen and phosphorus soil chemical tests results (laboratory conditions) with crop response indexes to

Recibido 04-91.

nitrogen and phosphorus fertilizer application. The indexes were based on dry matter yield, grain yield, and nutrient uptake data. The regression technique implied the adjustment of a regression model to the above data. The independent variables were yield indexes and the dependent variables nitrogen and phosphorus extracted by soil chemical procedures. In addition, pH, organic matter and clay were employed for a multivariate regression analysis in the case of the phosphorus.

The comparison showed that if the objective is to choose chemical methods for estimating available soil nitrogen and phosphorus the regression analysis did not produce qualitatively different information than that provided by correlation analysis.

INTRODUCCION

El uso del análisis de suelo para diagnosticar el nivel de fertilidad y recomendar fertilizantes requiere: (a) seleccionar los métodos químicos más apropiados, lo cual se logra relacionando la cantidad del nutrimento extraído mediante varios procedimientos analíticos con la cantidad de este nutrimento absorbida por la planta o con otros parámetros del cultivo (correlación) y, (b) calibrar dichos métodos, esto es, asociar los valores obtenidos en el laboratorio con los rendimientos o la respuesta a la aplicación de fertilizantes.

En la fase de selección de métodos químicos se acostumbra correlacionar linealmente la cantidad de nutrimento extraído con los índices de respuesta de la planta. Este enfoque ha recibido numerosas críticas (Alvarez, 1988; Anzástiga, 1984; Melsted y Peck, 1973), debido a que la relación entre algunos de los índices de respuesta del cultivo y el nivel del nutrimento disponible en el suelo no es lineal y a que dichas relaciones varían de acuerdo con el índice y al método de análisis empleado, por lo que con frecuencia se obtienen bajos coeficientes de correlación.

Como un procedimiento estadístico alternativo más justificable y que mejora dichas relaciones, se utiliza el análisis de regresión simple y múltiple; en este último se

incluye algunas variables de suelo tales como pH, textura, materia orgánica etc.; que pudieran afectar la relación del nutrimento extractable con la respuesta de la planta (Hauser, 1980). Recientemente Corey (1987) propuso el uso de modelos cuasimecanísticos que describen la cinética de la absorción de nutrimentos por las plantas y que por tanto, pueden ser más efectivos como procedimientos de correlación.

La desventaja del empleo del análisis de regresión y de modelos cuasimecanísticos como técnicas para seleccionar métodos químicos de diagnóstico de la fertilidad del suelo es que requieren de información que no siempre es disponible y de equipo de computación, e involucran gran inversión de tiempo.

El objetivo del presente trabajo fue demostrar que por correlación lineal simple se puede obtener los mismos resultados que con regresión en la selección de métodos para estimar el suministro nutrimental por el suelo.

MATERIALES Y METODOS

Para el cumplimiento del objetivo del trabajo se realizó un análisis en el que se comparó las técnicas estadísticas de correlación y análisis de regresión empleadas en la selección de métodos químicos. Para ello, se tomó como referencia el trabajo de correlación de métodos de nitrógeno aprovechable de Alvarez (1988), que involucra ensayos de invernadero para diferentes especies vegetales, y el de Anzástiga (1984), que proporciona información sobre la selección de métodos de fósforo disponible basada en experimentos de campo.

Metodología para la Selección de Métodos de Nitrógeno Aprovechable.

Se seleccionó 34 sitios de muestreo de las zonas cebaderas comprendidas en los estados de Puebla, Tlaxcala, Hidalgo y México. Las muestras de suelo fueron obtenidas de la capa arable 0 a 15 cm y caracterizadas química y físicamente por métodos convencionales para pH, arena, limo y arcilla, conductividad eléctrica fósforo extractable Olsen, cationes intercambiables (K, Ca, Mg) y constantes de humedad (CC y PMP).

El experimento fue conducido en condiciones de invernadero utilizando cebada (*Hordeum vulgare*) vs Centinela y trigo (*Triticum aestivum*) vs Salamanca como cultivos indicadores. El diseño experimental empleado fue completamente al azar. Los niveles de fertilización nitrogenada fueron 0 y 0.6 g N/maceta con dos kilogramos de suelo (equivalente aproximadamente a 400 Kg N/ha). La cosecha se realizó una vez que el cultivo llegó a la madurez. Los parámetros evaluados fueron: (a) en planta, rendimiento de paja, grano y nitrógeno total y, a partir de éstos se calculó los índices de respuesta: rendimiento del testigo sin nitrógeno, nitrógeno absorbido por el testigo, incremento de rendimiento, rendimiento relativo, absorción relativa de nitrógeno y nitrógeno absorbido por el testigo en materia seca total; (b) en suelo, contenido de nitrógeno extractable de acuerdo con las siguientes metodologías: (1) determinación de $N-NO_3$ extraído con $CaCl_2$ 0.01 N y evaluación con ácido salicílico (Robarge *et al.*, 1983) (2) nitrógeno inorgánico inicial ($N-NO_3 + N-NH_4$) en KCl 2 N (Bremner, 1965), (3) $N-NH_4$ liberado por tratamiento en autoclave por 16 horas con $CaCl_2$ 0.01 M (Keeney, 1982), (4) nitrificación potencial (Schmidt y Belser, 1982), (5) nitrógeno mineralizable en incubación por 14 días a 35°C (Keeney y Bremner, 1967), (6) materia orgánica extractable en $NaHCO_3$ 0.01 M (Fox y Piekielek, 1978), (7) nitrógeno total Kjeldahl (Bremner, 1965), (8) materia orgánica Walkley y Black (Allison, 1965), (9) $N-NH_4$ liberado en autoclave + $N-NH_4$ inicial, (10) nitrificación potencial + $N-NO_3$ inicial y (11) nitrógeno mineralizable en incubación por 14 días + ($N-NO_3 + N-NH_4$) inicial.

Metodología para la Selección de Métodos de Fósforo Disponible.

Se empleó muestras de suelo y datos de producción de maíz en grano de 63 experimentos de campo, con diversas dosis de nitrógeno y fósforo, conducidos entre los años 1976 y 1978 en las zonas de los Planes Puebla y Chiautla en el estado de Puebla. Las muestras de suelo fueron obtenidas de la capa arable 0 a 15 cm en los sitios experimentales, indistintamente antes o después de establecer los ensayos y caracterizadas por métodos convencionales para pH, conductividad eléctrica, porcentaje de materia orgánica y textura.

Los parámetros evaluados fueron: (a) en planta, rendimiento de grano y a partir de éste se calculó los índices de respuesta: rendimiento del tratamiento testigo sin fósforo, rendimiento máximo obtenido, rendimiento relativo e incremento de rendimiento, para cada sitio experimental; (b) en el suelo, contenido de fósforo extractable de acuerdo con los siguientes métodos: (1) Bray-1 (Bray y Kurtz, 1945), (2) Olsen (Olsen *et al.*, 1954), (3) Soltanpour (Soltanpour y Workman, 1979), (4) Morgan (Lunt *et al.*, 1950), (5) Mehlich-1 ó Carolina del Norte o Doble ácido (Mehlich, 1953), (6) Mehlich-2 (Mehlich, 1978).

Selección de Métodos.

La selección de métodos químicos para evaluar tanto el nitrógeno como el fósforo disponible en el suelo se hizo usando dos procedimientos: correlaciones simples y por análisis de regresión.

La técnica de correlación consistió en asociar cada uno de los métodos de extracción de nitrógeno y fósforo disponible con los índices de respuesta de los cultivos, estos últimos calculados con base en los rendimientos de biomasa aérea total y grano, respectivamente. Para seleccionar los mejores métodos por este procedimiento se tomó los criterios del valor más alto del coeficiente de correlación y el mayor número de índices de respuesta asociados significativamente.

La técnica de regresión consistió en ajustar a los datos diversos modelos de regresión uni y multivariados. Los criterios de selección empleados se basaron en el valor de R^2 del modelo de regresión y en el menor valor residual.

Para el análisis univariado se empleó como variables independientes el fósforo y nitrógeno extraído y, para el multivariado el fósforo y las variables pH, materia orgánica y arcilla. Las variables independientes fueron los diversos índices de rendimiento arriba señalados.

RESULTADOS Y DISCUSION

Las características de los suelos empleados en la selección de métodos de nitrógeno y

Cuadro 1. Ecuaciones de índices de respuesta para el cultivo de cebada en función del nitrógeno extraído por diferentes métodos y comparación de los coeficientes de determinación (R^2) y de correlación (r^2) (tomado de Alvarez, 1988).

Método	Índice de Respuesta	R^2	r^2
C E B A D A			
Rendimiento Relativo			
N-NO ₃ CaCl ₂ 0.1N	Y = 29.71+ 1.03N - 0.004N ²	0.517	0.45*
N-NO ₃ + N-NH ₄ KCl 2N	Y = 32.91+ 0.55N - 0.001N ²	0.460	0.44*
N-NH ₄ autoclave	Y = 40.23+ 0.43N - 7.76N ²	0.212	0.19*
N-NH ₄ autoclave + N-NH ₄ i	Y = 11.84- 0.22N + 7.76N ⁵	0.276	0.23*
N mineralizado en incub. 14 días			
+ (N-NH ₄ + N-NO ₃) i	Y = 10.38+ 0.52N - 0.0008N ²	0.542	0.49*
Materia orgánica Walkley-Blak	Y = 43.68+ 4.17N - 0.92N ²	0.320	0.15
Absorción Relativa de Nitrógeno			
N-NO ₃ CaCl ₂ 0.1N	Y = 21.47+ 0.59N - 0.001N ²	0.555	0.53*
N-NO ₃ + N-NH ₄ KCl 2N	Y = 23.30+ 0.264N- 0.0003N ²	0.546	0.54*
N-NH ₄ autoclave	Y = 25.18+ 0.283N- 0.0007N ²	0.289	0.27*
N-NH ₄ autoclave + N-NH ₄ i	Y = 2.07 - 0.180N + 6.02N ⁵	0.421	0.35*
N mineralizado en incub. 14 días			
+ (N-NH ₄ + N-NO ₃) i	Y = (94.41* N)/(172.859 + N)	0.966	0.59*
Materia orgánica Walkley-Blak	Y = 26.43+ 3.37N - 0.92N ²	0.435	0.23*
Rendimiento del Testigo			
N-NO ₃ CaCl ₂ 0.1N	Y = (30.65* N)/(16.91 + N)	0.960	0.55*
N-NO ₃ + N-NH ₄ KCl 2N	Y = 10.42+ 0.208N- 0.0006N ²	0.451	0.37*
N-NH ₄ autoclave	Y = 11.96+ 0.202N- 0.0007N ²	0.273	0.18
N-NH ₄ autoclave + N-NH ₄ i	Y = 11.65+ 0.156N- 0.0004N ²	0.240	0.18
N mineralizado en incub. 14 días			
+ (N-NH ₄ + N-NO ₃) i	Y = -6.03- 0.046N- 2.86N ⁵	0.515	0.49*
Materia orgánica Walkley-Blak	Y = 14.12+ 1.97N - 0.097N ²	0.164	0.15
Absorción de N por el Testigo			
N-NO ₃ CaCl ₂ 0.1N	Y = 0.11 + 0.003N	-	0.69*
N-NO ₃ + N-NH ₄ KCl 2N	Y = 0.111+ 0.001N- 2X10 ⁻⁶ N ²	0.589	0.59*
N-NH ₄ autoclave	Y = 0.114+ 0.002N- 6X10 ⁻⁶ N ²	0.319	0.28*
N-NH ₄ autoclave + N-NH ₄ i	Y = -0.007- 0.0009N + 0.0345N ⁵	0.388	0.33*
N mineralizado en incub. 14 días			
+ (N-NH ₄ + N-NO ₃) i	Y = 0.042+ 0.001N- 8X10 ⁻⁷ N ²	0.733	0.72*
Materia orgánica Walkley-Blak	Y = 0.128+ 0.26N - 0.0009N ²	0.343	0.25*
de Rendimiento de Materia Seca			
N-NO ₃ CaCl ₂ 0.1N	Y = 22.70- 0.193N-	-	0.23*
N-NO ₃ + N-NH ₄ KCl 2N	Y = 22.12- 0.109N-	-	0.22*
N-NH ₄ autoclave	Y = 20.59- 0.091N-	-	0.11
N-NH ₄ autoclave + N-NH ₄ i	Y = 21.47- 0.083N-	-	0.15
N mineralizado en incub. 14 días			
+ (N-NH ₄ + N-NO ₃) i	Y = 26.99- 0.094N-	-	0.28*
Materia orgánica Walkley-Blak	Y = 19.68- 0.994N-	-	0.09
de N Absorbido			
N-NO ₃ CaCl ₂ 0.1N	Y = 0.378- 0.001N	-	0.14
N-NO ₃ + N-NH ₄ KCl 2N	Y = 0.382- 0.0007N	-	0.20*
N-NH ₄ autoclave	Y = 0.368- 0.0005N	-	0.08
N-NH ₄ autoclave + N-NH ₄ i	Y = 0.378- 0.0006N	-	0.12
N mineralizado en incub. 14 días			
+ (N-NH ₄ + N-NO ₃) i	Y = 0.402- 0.0005N	-	0.17
Materia orgánica Walkley-Blak	Y = 0.363- 0.006N	-	0.06

* Significativo al 1%

fósforo aprovechable se presenta en los trabajos originales de Alvarez (1988) y Anzástiga (1984).

Del análisis de los resultados de la caracterización química de los suelos presentada por dichos autores, se concluye que en las muestras estaban representadas ampliamente las variaciones naturales que muestran los suelos de las zonas de estudio.

La selección de los 11 índices químicos de disponibilidad de nitrógeno, así como los parámetros del cultivo observados en el experimento de selección de métodos de nitrógeno aprovechable para la cebada y el trigo, se presenta en los Cuadros 2, 3 y 4 del trabajo original de Alvarez (1988).

En el Cuadro 3 del trabajo original de Anzástiga (1984), se muestra los resultados de los análisis de fósforo extractable por los métodos empleados; Bray-1, Olsen, Soltanpour, Morgan y Mehlich-1 y Mehlich-2; así como los índices de respuesta del cultivo de maíz para cada sitio experimental empleado en la selección de métodos de fósforo disponible.

Selección por Correlación.

En el Cuadro 1 se presenta los coeficientes de correlación lineal simple entre el nitrógeno extraído por los 11 métodos empleados y los diferentes índices de respuesta para el cultivo de cebada. No se incluye en este trabajo los resultados para trigo, que fueron muy similares a los de cebada.

Como previamente se definió en Materiales y Métodos, se consideraría como los mejores métodos aquéllos que presenten una asociación estrecha con el mayor número de índices de respuesta.

Los métodos que en mayor medida cumplieron estas condiciones fueron: nitrógeno inorgánico inicial ($N-NO_3 + N-NH_4$) extractable con KCl 2 N, el $N-NO_3$ extraído con $CaCl_2$ 0.1 N y evaluado con ácido salicílico, nitrógeno mineralizado en incubación por 14 días a $35^\circ C$ más el Ni ($N-NO_3 + N-NH_4$) y la nitrificación potencial, ya que se asociaron alta y significativamente con más de cuatro índices de respuesta del cultivo de cebada. La situación para el cultivo de trigo fue exactamente la misma.

De estos resultados, los índices de respuesta que mejor se asociaron con los métodos que resultaron ser buenos predictores de nitrógeno aprovechable fueron: el nitrógeno absorbido por el testigo, la absorción relativa de nitrógeno y el rendimiento de materia seca (Alvarez, 1988). Este comportamiento se observa para la cebada y el trigo aunque, en general, para este último, los valores de r fueron más altos sobre todo para el rendimiento del testigo y de nitrógeno absorbido.

En el Cuadro 2 se presenta los coeficientes de correlación lineal simple entre el fósforo extractable por los seis métodos empleados y los diferentes índices de respuesta del cultivo de maíz para los suelos de las zonas de los Planes Puebla y Chiautla.

Los métodos Bray-1 y Mehlich-2 resultaron ser los mejores predictores de fósforo aprovechable, ya que se asociaron alta y significativamente con tres índices de respuesta (Anzástiga, 1984). En contraste con éstos, los métodos Morgan y Mehlich-1 no se correlacionaron significativamente con ninguno de los índices de respuesta. Los métodos Olsen y Soltanpour presentaron un comportamiento intermedio, pues se asociaron alta y significativamente con tres de los índices, pero los coeficientes de correlación fueron menores que para los procedimientos de Bray-1 y Mehlich-2.

Los estimadores de rendimiento que mejor se asociaron con el fósforo extractable por los procedimientos Bray-1, Mehlich-2, Olsen y Soltanpour fueron el rendimiento de los tratamientos testigo sin fósforo y el rendimiento máximo obtenido con fertilización fosforada.

Selección por Regresión.

El uso de la correlación lineal simple ha sido el procedimiento tradicional para seleccionar métodos de análisis de suelo con valor predictivo. Sin embargo, no siempre la relación entre un índice de respuesta del cultivo y el nivel de un nutrimento disponible en el suelo son de tipo lineal.

En las Figuras 1 y 2 se muestra un ejemplo en el cual se observa que las relaciones entre algunos de los índices de respuesta del cultivo y los índices de nitrógeno disponible en el suelo, no son lineal y que dichas

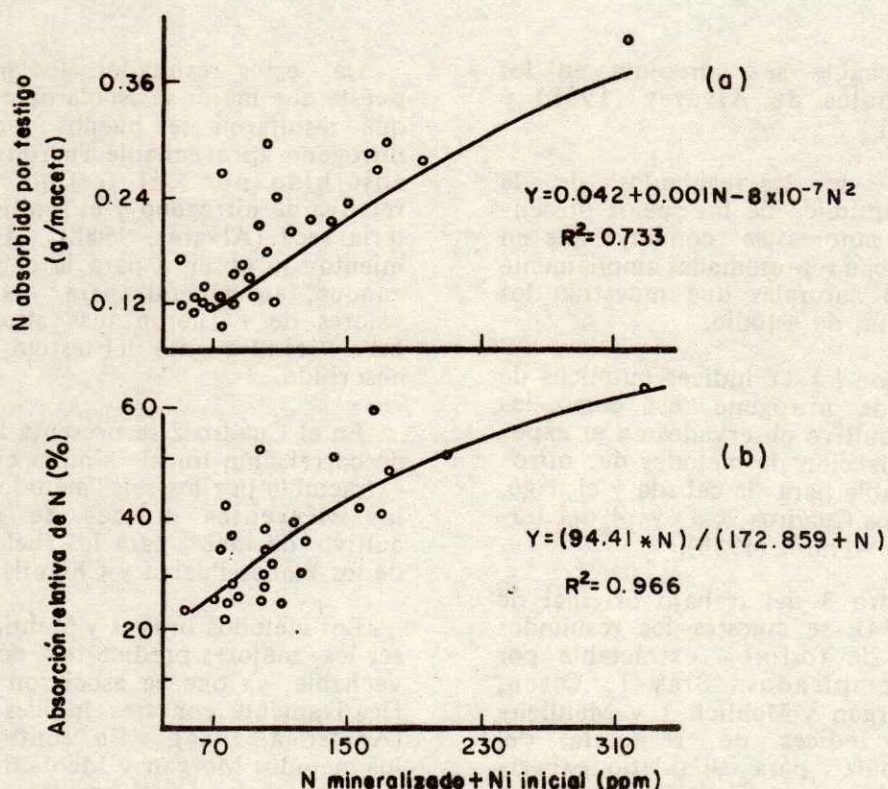


Figura 1. Relación entre el N absorbido por el testigo (a) y absorción relativa de N(b) del cultivo de cebada con el N disponible según N mineralizable en incubación por 14 días + (N-NH₄+N-NO₃) inicial.

relaciones varían de acuerdo con el índice y el método de análisis empleado (Alvarez, 1988). Esta misma situación se presenta con los índices de respuesta del cultivo de maíz en función de la concentración de fósforo disponible (Figuras 3 y 4).

Con estas observaciones preliminares para todas las relaciones, se ajustaron diversos modelos de regresión a los datos. Como base de selección del modelo de regresión se adoptó el criterio del mínimo cuadrado medio de las desviaciones de regresión, que al mismo tiempo dieran un coeficiente de ajuste aceptable.

En el Cuadro 1 se presentan los resultados correspondientes a los modelos que dieron mejor ajuste según el índice de respuesta y el método químico de nitrógeno utilizado, para cebada.

El empleo de estos modelos, en general, mejoró las asociaciones entre los índices

de respuesta y el nitrógeno extraído por los diferentes métodos empleados, pero sin alterar el orden de selección de éstos. Tales resultados confirman el hecho de que los métodos elegidos por el procedimiento de correlación, N-NO₃ inicial determinado en extractos acuosos con posterior colorimetría en ácido salicílico, nitrógeno inorgánico inicial extractado con KCl 2 N y el nitrógeno mineralizado por tratamiento de incubación durante 14 días más nitrógeno inorgánico inicial, así como el nitrógeno absorbido por el testigo, la absorción relativa de nitrógeno y el rendimiento de materia seca del testigo, fueron los estimadores más útiles para evaluar este efecto. El comportamiento del trigo fue similar. Estos resultados no se presentan y pueden ser consultados en el trabajo original de Alvarez (1988).

En el Cuadro 2 se indica los resultados correspondientes a los mejores modelos logrados según el índice de rendimiento y el método químico de fósforo disponible.

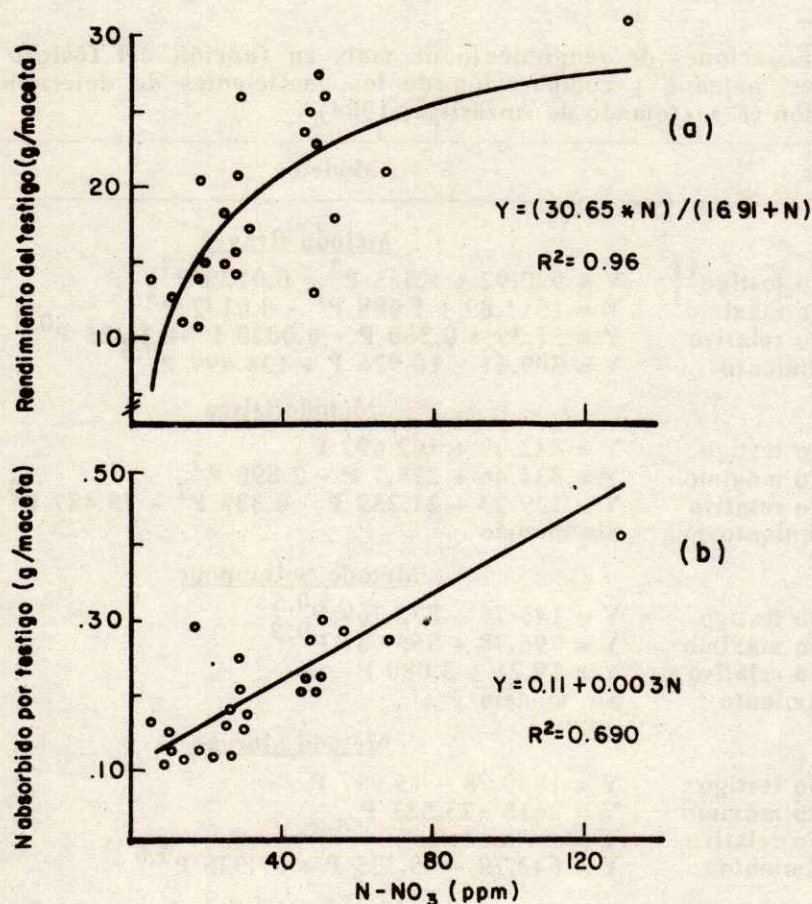


Figura 2. Relación entre el rendimiento del testigo (a) y N absorbido por el testigo (b) del cultivo de cebada con el N disponible según $N-NO_3CaCl_2O.IN$.

El empleo de estos modelos mejoró en general las asociaciones. Sin embargo, los resultados confirman en toda su extensión que aquéllos obtenidos con el empleo de la correlación simple, esto es, que los métodos Bray-1 y Mehlich-2 son los de mayor valor predictivo y los rendimientos del testigo sin fertilización fosfatada, así como los rendimientos máximos, los índices más útiles para evaluar este efecto.

De los resultados presentados tanto para nitrógeno como para fósforo disponible, cabe señalar que cuando se ajustaron los modelos no lineales (Figuras 1b, 2a, 3b y 4b) los coeficientes de determinación fueron los más altos en comparación con el uso de los modelos cuadráticos o de raíz cuadrada, los cuales se han utilizado indiscriminadamente, olvidándose

de los obtenidos en investigaciones biológicas y que explican mejor dichas relaciones (Pereira y Arruda, 1987).

Como se mencionó en Materiales y Métodos, en la selección de métodos de fósforo disponible, el análisis de regresión se efectuó para fósforo extractable solo y para fósforo y las variables de pH, materia orgánica y arcilla.

En el Cuadro 3 se muestra las ecuaciones de los índices de respuesta del maíz en función del fósforo, pH y arcilla (la materia orgánica no resultó significativa). Estas ecuaciones corresponden a las que presentaron mejor ajuste y menor valor de los cuadrados medios de los residuales.

Cuadro 2. Ecuaciones de rendimiento de maíz en función del fósforo determinado por diferentes métodos y comparación de los coeficientes de determinación (R^2) y de correlación (r^2), (tomado de Anzástiga, 1984).

Estimadores	Modelo	R^2	r^2
Método Bray-1			
Rendimiento testigo ¹⁾	$Y = 920.92 + 1.565 P^2 - 0.0125 P^3$	0.72	0.58*
Rendimiento máximo ¹⁾	$Y = 1511.89 + 1.688 P^2 - 0.0137 P^3$	0.57	0.46*
Rendimiento relativo de rendimiento	$Y = 57.39 + 0.360 P - 0.0020 P^2 + 1.425 P^{0.5}$ $Y = 309.61 - 10.926 P + 138.499 P^{0.5}$	0.21	0.19*
		0.03	0.003
Método Olsen			
Rendimiento testigo	$Y = 442.09 + 162.692 P$	0.42	0.41*
Rendimiento máximo	$Y = 831.46 + 225.7 P - 2.890 P^2$	0.32	0.32*
Rendimiento relativo de rendimiento	$Y = 129.23 + 21.259 P - 0.339 P^2 - 73.487 P^{0.5}$ Sin modelo	0.21	0.19*
		----	0.002
Método Soltanpour			
Rendimiento testigo	$Y = 145.79 + 873.769 P^{0.5}$	0.19	0.25*
Rendimiento máximo	$Y = 796.78 + 855.681 P^{0.5}$	0.14	0.19*
Rendimiento relativo de rendimiento	$Y = 59.21 + 3.080 P$ Sin modelo	0.14	0.15*
		----	0.000
Método Morgan			
Rendimiento testigo	$Y = 1850.78 - 15.997 P$	0.04	0.07
Rendimiento máximo	$Y = 2615 - 23.531 P$	0.07	0.09
Rendimiento relativo de rendimiento	$Y = \text{sin modelo}$ $Y = 642.79 - 15.335 P + 67.525 P^{0.5}$	----	0.00
		0.04	0.05
Método Mehlich-1			
Rendimiento testigo	$Y = 729.23 - 19.244 P + 342.24 P^{0.5}$	0.12	0.00
Rendimiento máximo	$Y = 1470.58 - 14.783 P + 280.213 P^{0.5}$	0.06	0.003
Rendimiento relativo de rendimiento	$Y = 64.13 + 0.355 P - 0.001 P^2$ $Y = 742.90 + 4.531 P - 63.299 P^{0.5}$	0.18	0.01
		0.03	0.02
Método Mehlich-2			
Rendimiento testigo ¹⁾	$Y = 822.05 + 2.268 P^2 - 0.0305 P^3$	0.68	0.59*
Rendimiento máximo ¹⁾	$Y = 1381.58 + 3.108 P^2 - 0.037 P^3$	0.56	0.47*
Rendimiento relativo de rendimiento	$Y = 77.68 + 2.489 P - 11.972 P^{0.5} - 0.013 P^3$ $Y = 510.32 + 28.787 P^{0.5}$	0.22	0.21*
		0.01	0.01

1) Para $N = 61$, $N =$ número de suelos, $P =$ Fósforo

* Significativa al 5%.

Tal como se mostró para el caso de las correlaciones lineales simples (Cuadro 2) y de las regresiones en que sólo se incluyó fósforo en la función (Cuadro 2), los índices que mejor ajuste presentaron fueron: el rendimiento del testigo sin fósforo y del rendimiento máximo, y los métodos que mejor explicaron las variaciones de rendimiento fueron los de Bray-1 y Mehlich-2.

La comparación de los métodos seleccionados por ambos procedimientos estadísticos empleados demuestra que no existen ventajas que permitan asegurar que el empleo de técnicas de regresión produzcan información cualitativamente distinta que la técnica de correlación, cuando se trata de seleccionar métodos para el diagnóstico del estado nutricional de

Cuadro 3. Ecuaciones de rendimiento del cultivo de maíz en función del fósforo determinado por distintos métodos, pH y arcilla y comparación de los coeficientes de determinación (R^2) y de correlación (r^2), (tomado de Anzástiga, 1984).

Estimadores	Modelo	R^2	r^2
Método Bray-1			
Rendimiento testigo ¹⁾	$Y = 946.20 + 2.094 P^2 - 0.0122 P^3 - 0.587 P^2 pH^{0.5}$	0.75	0.58*
Rendimiento máximo ¹⁾	$Y = 3176.27 + 2.268 P^2 - 0.0127 P^3 - 1074.372 pH - 2777.039 pH^{0.5} - 0.723 P^2 pH^{0.5}$	0.66	0.46*
Rendimiento relativo de rendimiento	$Y = 44.1 + 0.90 P - 0.005 P^2 + 3.0 ARC^{0.5}$ $Y = 2056.9 - 1.97 P + 659.6 pH - 1905.5 pH^{0.5} - 40.4 ARC^{0.5}$	0.25 0.22	0.19* 0.003
Método Olsen			
Rendimiento testigo	$Y = 4301.5 + 123.9 P + 851.8 pH - 2487.7 pH^{0.5} + 92.6 ARC - 901.7 ARC^{0.5}$	0.54	0.41*
Rendimiento máximo	$Y = 6709.4 + 102.4 P + 1594.9 pH - 4482.4 pH^{0.5} + 102.4 ARC - 1037.6 ARC^{0.5}$	0.55	0.32*
Rendimiento relativo de rendimiento	$Y = 54.6 + 173.0 P + 0.12 ARC$ $Y = 2265.5 - 19.65 P + 715.8 pH - 2048.5 pH^{0.5} - 49.3 ARC^{0.5}$	0.19 0.23	0.19* 0.002
Método Soltanpour			
Rendimiento testigo	$Y = 5135.4 + 159.7 P + 722.2 pH - 2387.8 pH^{0.5} + 108.6 ARC - 1065 ARC^{0.5}$	0.45	0.25*
Rendimiento máximo	$Y = 7721.8 + 96.1 P + 1502.2 pH - 4525.1 pH^{0.5} + 119.2 ARC - 1231.4 ARC^{0.5}$	0.49	0.19*
Rendimiento relativo de rendimiento	$Y = 56.2 + 3.38 P + 0.13 ARC$ $Y = 2148.7 - 38.07 P + 717.7 pH - 2125.8 pH^{0.5}$	0.23	0.15* 0.00
Método Morgan			
Rendimiento testigo	$Y = 6072.8 - 79.23 P - 1355.2 pH^{0.5} - 1227.10 ARC^{0.5} + 211.65 P^{0.5} ARC^{0.5}$	0.50	0.07
Rendimiento máximo	$Y = 6897.8 - 147.2 P + 1328.9 P^{0.5} + 1702.6 pH^{0.5} - 5624.7 pH^{0.5} + 133.9 ARC - 1385.9 ARC^{0.5}$	0.54	0.09
Rendimiento relativo de rendimiento	Sin modelo $Y = 1936.1 - 3.04 P + 723.4 pH - 2010.6 pH^{0.5}$	----	0.00 0.21 0.05
Método Mehlich-1			
Rendimiento testigo	$Y = 7287.8 - 10.77 P + 1349.6 pH - 3632.73 pH^{0.5} + 150.95 ARC - 1682.3 ARC^{0.5} + 5243.0 P^{0.5} ARC^{0.5}$	0.44	0.00
Rendimiento máximo	$Y = 8423.6 + 33.2 P^{0.5} + 1696.5 pH - 4963.9 pH^{0.5} + 128.4 ARC - 1362.3 ARC$	0.48	0.003
Rendimiento relativo de rendimiento	$Y = 64.6 + 0.36 P - 0.001 P^2 - 0.25 pH$ $Y = 2402.7 + 9.1 P - 142.6 P^{0.5} + 542.6 pH - 1742.2 pH^{0.5} - 56.9 ARC^{0.5}$	0.20 0.30	0.01 0.02
Método Mehlich-2			
Rendimiento testigo ¹⁾	$Y = 840.83 + 3.441 P^2 - 0.0323 P^3 - 0.679 P^2 pH^{0.5}$	0.72	0.59*
Rendimiento máximo ¹⁾	$Y = 1415.66 + 4.476 P^2 - 0.040 P^3 - 1.233 P^2 pH^{0.5}$	0.65	0.47*
Rendimiento relativo de rendimiento	$Y = 36.78 + 5.68 P^{0.5} + 2.59 ARC^{0.5}$ $Y = 2124.1 - 3.38 P^2 + 686.4 pH - 1964.8 pH^{0.5} - 45.5 ARC^{0.5}$	0.25 0.22	0.21* 0.01

1) Para N = 61, N = número de suelos

P = Fósforo

ARC = Arcilla

* Significativa al 5%.

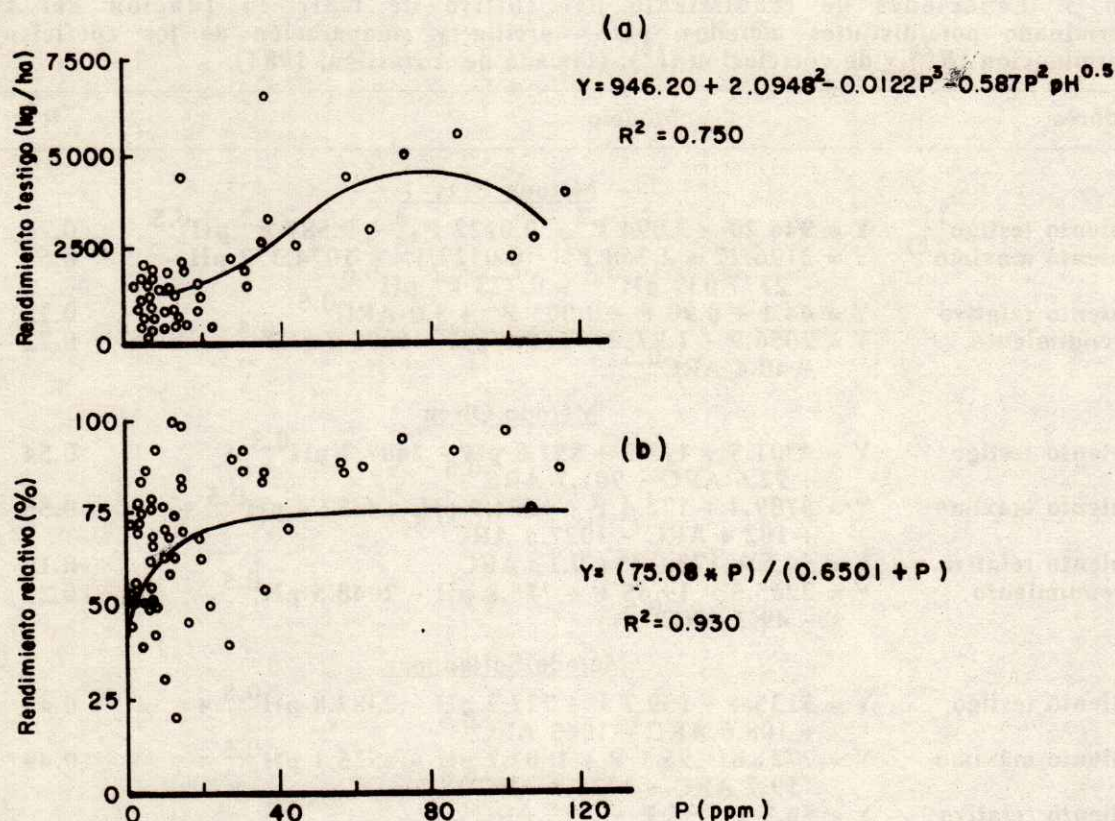


Figura 3. Relación entre el rendimiento del testigo (a) y rendimiento relativo (b) con el fósforo disponible según Bray-1 en experimentos de fertilización con maíz, conducidos en la zona de los Planes, Puebla y Chiantla (1976-1978).

nitrógeno y fósforo, empleando información de invernadero, campo y laboratorio. Por el contrario, la técnica de regresión requiere de disponibilidad de equipo de computación más complejo que las calculadoras de escritorio y consume mucho más tiempo y esfuerzo económico. A lo anterior, puede citarse una excepción, que es el caso reportado por Etchevers *et al.* (1990), en el cual la regresión contribuyó a seleccionar un procedimiento de medición de fósforo extractable. Tal situación se presentó cuando el fósforo no fue el principal factor limitante del rendimiento y los datos de extracción en el laboratorio, no se correlacionaron con los índices de respuesta. La inclusión de otras variables de sitio sirvió para explicar la variación de dichos índices y permitió hacer una selección.

CONCLUSIONES

1. Debido a que la relación entre los índices de respuesta y el nitrógeno o fósforo extractable del suelo no siempre es lineal, resultó mayor la asociación entre ambas variables mediante regresión simple y regresión multivariada que por correlación simple.
2. La inclusión de otras variables de suelo (pH y arcilla que resultaron significativas) en los modelos de regresión de los índices de respuesta con el fósforo extractable del suelo, no mejoró notablemente el ajuste de los modelos de regresión.

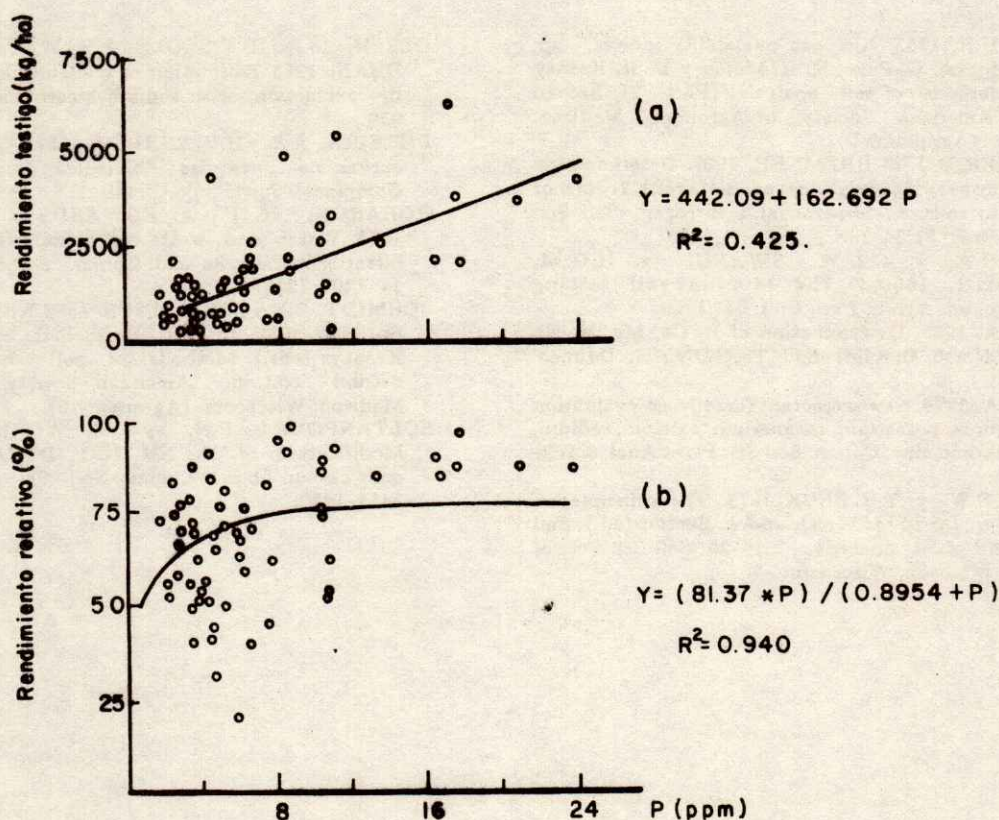


Figura 4. Relación entre el rendimiento del testigo (a) y rendimiento relativo (b) con el fósforo disponible según Olsen en experimentos de fertilización con maíz, conducidos en la zona de los Planes, Puebla y Chiautla (19)6-1978.

3. El uso de la regresión, aunque explica mejor la variación de un índice de respuesta, no representa mayores ventajas sobre el empleo de la correlación, en la selección de los mejores métodos químicos.

LITERATURA CITADA

- ALVAREZ, S., M.E. 1988. Selección de métodos de diagnóstico de nitrógeno aprovechable. Tesis de Maestría en Ciencias. Colegio de Postgraduados, Montecillos, Méx.
- ALLISON, F.E. 1965. Organic carbon, p. 1367-1378, *In*: C.A. Black (ed.). *Methods of soil analysis (Part 2)*. American Society of Agronomy, Madison, Wisconsin. (Agronomy 9).
- ANZASTIGA, A.P. 1984. Correlación y calibración de métodos químicos para la determinación de fósforo disponible en suelos del estado de Puebla. Tesis Profesional. UAEM. Escuela de Ciencias Químicas. Toluca, Méx.
- BRAY, E.H. y KURTZ, L.T. 1945. Determination of total organic and available forms of phosphorus in soils. *Soil Sci.* 59:39-45.
- BREMNER, J.M. 1965. Inorganic forms of nitrogen, p. 1179-1237. *In*: C. A. Black (ed.). *Methods of soil analysis (Part 2)*. American Society of Agronomy, Madison, Wisconsin (Agronomy 9).
- COREY, R.B. 1987. Soil test procedures: correlation. pp 15-22. *In*: J. R. Brown (ed.) *Soil testing: sampling, correlation, calibration and interpretation*. Soil Sci. Soc. of America Inc., Madison, Wisconsin.
- ETCHEVERS B., J.D., V. VOLKE H., A. ANZASTIGA, G. ETCHEVERS G. y A. GALVIS S. 1990. Selección de métodos de análisis de fósforo para suelos de la Huasteca de Cárdenas, Oaxaca, mediante correlación y regresión múltiple. *Agrociencia (Serie Agua-Suelo-Clima)* 1: 57-72.
- FOX, R.J. y W.P. PIEKIELEK. 1978. A rapid method for estimating the nitrogen supplying of a soil. *Soil Sci. Soc. Amer. J.* 42:751-753.
- HAUSER, F.G. 1980. Interpretación de los análisis de suelo al formular recomendaciones sobre fertilizantes. *Boletín de suelos de la FAO No 18*, Roma.

- KEENEY, D.R. 1982. Nitrogen-avalability indices, pp. 711-733. *In*: A. L. Page, R. H. Muller y D. R. Keeney (eds.). *Methods of soil analysis (Part 2)*. Second edition. American Society of Agronomy, Madison, Wisconsin. (Agronomy 9).
- KEENEY, D.R. y J. M BREMNER. 1967. Determination and isotope-ratio analysis of different forms of nitrogen in soils: 6. Mineralizable nitrogen. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 31:34-39.
- LUNT, H.A., C.L.W. SWASON y H.G.M. JACOBSON. 1950. The Morgan soil testing system. *Comm. Agron. Exp. Bull.* 541:1-60.
- MEHLICH, A. 1953. Determination of P, Ca, Mg, K, Na y NH_4 . North Carolina Soil Test Division (Mimeo. 1953).
- MEHLICH, A. 1978. New extractant for soil test evaluation of phosphorus, potassium, magnesium, calcium, sodium, manganese and zinc. *Comm. Soil Sci. Plant Anal.* 9:477-492.
- MELSTED, S.W. y T.R. PECK, 1973. The principles of soil testing, *In*: L. M. Walsh and J. Beaton (ed.). *Soil testing and plant analysis* . 2:13-20. Soil Sci. Soc. of America, Madison, Wisconsin.
- OLSEN, S.R., C.V. COLE, F.S. WATANABE y L.A. DEAN. 1954. Estimation of available phosphorus in soils by extraction with sodium bicarbonate. USDA. Cir. 939.
- PEREIRA, A.R. y H.V. ARRUDA. 1987. Ajuste prático de curvas na pesquisa biológica. Fundacao Cargill. Campinas, Sao Paulo, Brasil.
- ROBARGE, N. P., A. EDWARDS y B. JOHNSON. 1983. Water and waste water analysis for nitrate via nitration of salicylic acid. *Comm. Soil Sci. Plant Anal.* 14: 1207-1215.
- SCHMIDT, E.E. y L.W. BELSER. 1982. Nitrifying bacteria, pp. 1037-1038. *In*: A.L. Page, R.H. Muller and D.R. Keeney (eds.). *Methods of soil analysis (Part 2)*. Second edition. American Society of Agronomy, Madison, Wisconsin. (Agronomy 9).
- SOLTANPOUR, P.N. y S. WORKMAN. 1979. Modification of the NH_4HCO_3 -DTPA soil test to omit carbon black. *Comm. Soil Sci. Plant Anal.* 10: 1411-1420.

LA MATERIA ORGANICA DEL SUELO COMO FUNCION DE FACTORES FISICOS Y EL USO Y MANEJO DEL SUELO

Soil Organic Matter as Function of Physical Factors,
and Land use System and Cropping Management of Soil

Victor Volke Haller¹, Jorge Frausto Reyes² y César Merino Bazán¹

¹Centro de Edafología, Colegio de Postgraduados, Montecillo, Méx.

²CEICADAR, Colegio de Postgraduados, Puebla, Pue., México.

Palabras clave: Materia orgánica del suelo, Sistema de uso del suelo, Manejo del suelo.

Index words: Soil organic matter, Land use system, Cropping management.

RESUMEN

En el presente trabajo se estudia el efecto de factores físicos y del uso y manejo del suelo sobre el contenido de materia orgánica del mismo, en dos suelos de la zona de Nochixtlán, Oax., durante el período de 1950 a 1988.

Los resultados indican que el contenido de materia orgánica del suelo en la zona de estudio se asocia con: el tipo de suelo, sitio de acumulación, el uso del suelo (bosque, pastoreo, cultivos), la cobertura y manejo del suelo, el grado y longitud de la pendiente y, para los terrenos bajo cultivos, la fertilización inorgánica.

SUMMARY

The effects of soil physical factors and of soil use and management on the soil organic matter were studied, in two soils of the

region of Nochixtlán, Oax., during the period of 1950 to 1988.

According to the results, in the studied region the soil organic matter is related to: soil type, site of accumulation, land use system (forest, pasture, crops), cropping management, slope length and gradient, and, for soils under cropping, the inorganic fertilization.

INTRODUCCION

Como es del conocimiento general, la materia orgánica del suelo es un componente importante, debido a que influye sobre diversas propiedades físicas y químicas, del mismo, que, en último término, de manera directa o indirecta, afectan favorablemente la producción agrícola.

En términos generales, el contenido de materia orgánica del suelo depende del balance entre las adiciones de residuos orgánicos y su descomposición por la flora microbiana. Las adiciones están dadas por las aportaciones de la cubierta vegetal, tanto de la parte aérea como de las raíces, a la vez que la descomposición depende de los diversos factores que afectan la actividad microbiana, como la temperatura, humedad, aireación, pH y contenidos nutrimentales del suelo, y del tipo y cantidad de coloide del suelo (Greenland y Hayes, 1978; Jenkinson,

Recibido 05-92.

1988), pero también, y por lo mismo, está estrechamente relacionada con el uso y manejo del suelo. Así, en los suelos dedicados a cultivos anuales con sistemas intensivos de preparación del suelo, en los que suele ser alta la aireación, es donde normalmente se observan los menores contenidos de materia orgánica. En el otro extremo se encuentran los suelos bajo bosque, en los cuales además de no existir movimiento del suelo, hay mayores adiciones superficiales de residuos orgánicos. Los suelos con uso de pastoreo están en una posición intermedia, en que tampoco hay movimiento del suelo y, además, existe una mayor adición de residuos, especialmente de raíces, que en el caso de cultivos anuales (Jenkinson, 1978; Whitehead *et al.*, 1975). Sin embargo, el contenido de materia orgánica de un suelo depende también de las pérdidas que ocurren en las capas superficiales, las más ricas en materia orgánica, producto de la erosión inducida por el hombre. Para un ambiente de clima y suelo dado, la erosión tiene su causa primera en una deficiente cubierta vegetal que proteja al suelo de los agentes causantes de la misma: el agua y el viento.

De esta manera, el contenido de materia orgánica de un suelo es el resultado de distintos procesos que ocurren en él, más o menos complejos, que comprenden diversos componentes relacionados con el uso y manejo, la actividad microbiana y la erosión. Estos procesos normalmente se encuentran interrelacionados, y no siempre resulta fácil estimar la influencia de cada uno sobre el contenido de materia orgánica del suelo.

En el presente trabajo se estudia el efecto de factores físicos y el uso y manejo del suelo sobre el contenido de materia orgánica del mismo, en dos suelos de la zona de Nochixtlán, Oax., con distintos usos (bosque, pastoreo y cultivos) y manejos, durante el período de 1950 a 1988.

MATERIALES Y METODOS

El área de estudio se encuentra ubicada en el Distrito de Nochixtlán, Oax., y comprende las localidades de Zaayucuanino, Yucuita y Los Angeles, cercanas a la ciudad de Nochixtlán, Oax.

El Distrito de Nochixtlán abarca una superficie de 330 000 ha, y en ésta se presentan, según Frausto (1987), cuatro grupos

de suelos: Rojos, con el 32%; Blancos, con el 30%; Depositacionales con el 16%; y de Gneiss, con el 21% del área. De estos suelos se seleccionaron los Depositacionales y Blancos, por los problemas de erosión que presentan, su importancia agrícola y pecuaria, y encontrarse presentes en la zona de Nochixtlán, Oax. Los suelos Depositacionales son suelos con profundidades mayores de 120 cm, de texturas franco arcillosas a arcillosas, pendientes predominantes menores de 15%, colores café rojizos a café grisáceos, pobres en materia orgánica y erosión predominante de canales y cárcavas, y corresponden a la unidad de suelos Cambisol eútrico de la clasificación FAO-UNESCO. Los suelos Blancos son suelos con profundidades menores de 40 cm, de texturas franco arcillosas, pedregosidad de 5 a 20%, pendientes diversas, pH alcalinos, contenidos variables de materia orgánica según su uso y erosión predominante laminar, y corresponden a la unidad de suelos Cambisol cálcico de la clasificación FAO-UNESCO.

El clima de la zona corresponde, según García (1981), a los climas templados subhúmedos y semisecos templados, con precipitaciones en verano. La temperatura media anual oscila entre los 11 y 15°C, y la precipitación anual varía de 400 a 725 mm, concentrándose en los meses de junio a septiembre.

Los suelos Depositacionales se dedican en su mayor parte al cultivo, y al pastoreo en las áreas con mayores pendientes cubiertas de matorrales, con densidad de plantas variable. En las áreas con menores pendientes, los suelos Blancos se destinan al cultivo, y en sus partes de mayores pendientes con vegetación de matorral y arbórea, se emplean para pastoreo.

La producción agrícola se realiza tanto bajo condiciones de riego, en las superficies bajas y planas, como de temporal, en las demás áreas. Los cultivos que se siembran son: maíz, frijol, trigo, alpiste y, en menor grado, cebada, y alfalfa exclusivamente en las áreas con riego. La ganadería se basa en la explotación de ganado ovino y caprino, con base en pastoreo en gran parte del año en los suelos que no se cultivan, así como, en menor grado, en la explotación bovina de leche, especialmente en las zonas con riego que producen alfalfa.

En este ámbito, se muestrearon 52 predios y 65 condiciones de producción en las localida-

des estudiadas, considerando una serie de factores: a) de suelo, como el tipo, contenido de materia orgánica y textura de la capa de 0 a 20 cm, pedregosidad superficial, color del horizonte superficial, grado de erosión laminar y en arroyuelos, profundidad, grado y longitud (media) de la pendiente, y sitio de acumulación (con 0% de pendiente); b) de uso del suelo en el periodo de 1950 a 1988, ya sea de cultivos, de pastoreo o de bosque; c) de manejo del suelo en el periodo de 1950 a 1988, en cuanto a los cultivos y su secuencia, descanso, fertilización orgánica y fertilización inorgánica, y, d) prácticas de conservación del suelo, como terrazas y bordos, y los cambios en el grado y la longitud (desde el inicio de los escurrimientos) de la pendiente, tanto actuales como en el periodo de 1950 a 1988.

En el caso de los factores físicos del suelo, como la textura, pedregosidad, color y profundidad, se midieron en su horizonte superior y/o en su estado actual. Mas, se debe reconocer que han sufrido modificaciones en el tiempo, debido a la pérdida de suelo por erosión y a la construcción de obras de conservación de suelo, como terrazas y bordos.

A partir del uso del suelo: bosque, pastoreo y cultivos, y del tipo de cultivo y su secuencia durante el periodo de 1950 a 1988, con base en las mediciones realizadas por Frausto (1990) en la zona e información dada por Wischmeir y Smith (1978), se estimó el factor cobertura y manejo de la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo, el cual se consideró de manera ponderada en dicho periodo, de acuerdo con el número de años de los usos y los cultivos y su secuencia.

El grado y longitud de la pendiente se midieron en sus valores actuales, y los cambios ocurridos en ellos durante el periodo de 1950 a 1988 se estimaron con base en fotografías aéreas de 1967 y 1979, según el método de Stellingworf (Deagostini, 1978; Frausto, 1990), e información sobre la construcción de terrazas y bordos. Los valores del grado y longitud de la pendiente se expresaron por subperiodos dentro del periodo considerado, según sus variaciones, y también de manera ponderada en dicho periodo de acuerdo al número de años de cada subperiodo.

En el Cuadro 1 se presentan los factores en estudio, el valor medio y ámbito de variación de cada uno de éstos.

Finalmente, en relación con los factores, cabe señalar que algunos otros de posible interés, tanto de suelo como de manejo, no fue factible considerarlos por carecer de análisis o de suficiente información.

El efecto de los factores en estudio sobre el contenido de materia orgánica del suelo, en la capa de 0 a 20 cm, se estimó con base en una función de respuesta obtenida mediante análisis de regresión, usando la técnica de máximo incremento de R^2 del programa SAS (Statistical Analysis System) y el menor cuadrado medio de desviaciones de regresión como criterio de bondad, según lo proponen Volke y Etchevers (1988).

Los factores que se midieron durante el periodo de 1950 a 1988, y que variaron en su valor, se probaron tanto en sus valores correspondientes a dos o tres subperiodos como en su valor medio ponderado de acuerdo con la duración de cada subperiodo.

RESULTADOS Y DISCUSION

La función de respuesta obtenida para el contenido de materia orgánica del suelo, en función de factores físicos de suelo y del uso y manejo del suelo, es la siguiente:

$$M = 4.986 + 0.765 S + 1.118 A + 1.681 U_1 + 0.3212 U_2 - 6.513 C^{0.75} - 0.02940 C^{1.075} G - 0.005590 C^{0.75} L + 0.01934 F$$

$$(R^2 = 0.909)$$

donde: M es el contenido de materia orgánica del suelo (%); S es el tipo de suelo (para suelo Depositacional, S=0; para suelo Blanco, S=1); A es sitio de acumulación (para suelo con pendiente igual a cero, A=0; para suelo con pendiente mayor que cero, A=1); U_1 es una variable auxiliar para el uso de bosque del suelo (para uso de bosque, $U_1=1$; para otro uso, $U_1=0$); U_2 es una variable auxiliar para el uso de pastoreo del suelo (para uso de pastoreo, $U_2=1$; para otro uso, $U_2=0$); C es el factor de cobertura y manejo de la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo, como media ponderada en el periodo de 1950 a 1988; G es el grado de la pendiente (%), como media ponderada en el periodo de 1950 a 1988; L es la longitud de la pendiente (m), como media ponderada en el periodo de 1950 a 1988; y, F es el número de años en que se aplicó fertilización inorgánica en el periodo de 1950 a 1988.

Cuadro 1. Valor medio y ámbito de variación de los factores en estudio.

Factor	Número de observaciones, valor medio o clase modal	Ámbito de variación	
De suelo			
Tipo de suelo:		<u>Variable auxiliar</u>	
Depositacional	54 obs.	0	
Blanco	11 obs.	1	
Materia orgánica (%)	2.02	0.27-8.00	
Arena (%)	22.4	9-39	
Limo (%)	31.1	16-48	
Arcilla (%)	46.5	33-59	
Color de horizonte A o Ap (en húmedo)	Clase 2 ^a	Clases: 1,2,3 ^a	
Pedregosidad superficial (%)	4.5	0->75	
Grado de erosión	Clase 1 y 2 ^b	Clases: 0,1,2,3,4 ^b	
Profundidad del suelo (cm)	-	<20->90	
Grado de la pendiente (%)	10.7	0-40	
Longitud de la pendiente (m)	103.7	1-450	
Sitio de acumulación:		<u>Variable auxiliar</u>	
suelo con pendiente > 0	62 obs.	0	
suelo con pendiente = 0	3 obs.	1	
De uso del suelo			
Uso:		<u>Variable auxiliar</u>	
cultivos	52 obs.	U1	U2
pastoreo	5 obs.	0	0
bosque	8 obs.	0	1
		1	0
De manejo del suelo			
Cultivos		Maíz, maíz cajete, maíz-frijol, frijol alfalfa, alpiste, cebada.	
Descanso (frecuencia de años)		<u>Clase^c</u>	
sin descanso	54 obs.	0	
con descanso	11 obs.	2 y 3	
Factor cobertura y manejo de la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo.	0.37	0.00-0.60	
Uso de abono orgánico (frecuencia de años).		<u>Clase^d</u>	
sin abono orgánico	54 obs.	0	
con abono orgánico	11 obs.	1 a 5	
Fertilización inorgánica (años)	4	0 a 23	

^aClase 1: color = 5YR; clase 2: color = 7.5 YR; clase 3: color = 10 YR.

^bClase 0: sin erosión; clase 1: erosión laminar; clase 2: erosión de arroyuelos (y laminar); clase 3: erosión de cárcavas; clase 4: erosión de arroyuelos y cárcavas.

^cClase 0: sin descanso; clase 2: cada 2 años; clase 3: cada 3 años.

^dClase 0: sin abono orgánico; clase 1-5: con abono orgánico cada 1 a 5 años.

De los factores que quedaron incluidos en la función de respuesta, y sus respectivos coeficientes, cabe realizar el análisis acerca del efecto de éstos sobre el contenido de materia orgánica del suelo.

El factor tipo de suelo (S) indica que los suelos Blancos estudiados presentan un mayor contenido medio de materia orgánica que los suelos Depositacionales, del orden de 0.76%. Esta diferencia, que aparenta ser elevada, no tiene una explicación clara, sin embargo, cabe señalar que otros suelos Blancos, no incluidos en la función de respuesta también mostraban contenidos de materia orgánica relativamente más altos.

Con relación al factor sitio de acumulación (A), resulta obvio que esta condición presente mayores contenidos de materia orgánica del suelo, en este caso, del orden de 1.12%. Normalmente, estos suelos se encuentran en las partes bajas y planas, tanto en las áreas de valle como de las denominadas cañadas, ubicadas entre cerros, donde se produce acumulación de suelo erosionado de las partes altas, además de que la mayor humedad que se acumula en estas áreas también favorece un mayor contenido de materia orgánica, a través de una mayor producción de residuos orgánicos.

Sobre el factor uso del suelo, se observa que el uso de pastoreo (U_2) y de bosque (U_1), muestran en promedio un mayor contenido de materia orgánica del suelo que el uso de cultivos, del orden de 0.32% y 1.68%, respectivamente, y que, de acuerdo con estos valores, el uso de bosque muestra un mayor contenido de materia orgánica del suelo que el uso de pastoreo, del orden de 1.35%. Aun cuando estos valores pueden ser algo superiores, debido a que en el modelo entró el factor cobertura y manejo en forma curvilínea, según se verá al analizar este factor, para el uso de bosque resulta claro el mayor contenido de materia orgánica del suelo, a causa de la acumulación de residuos en la superficie, que, por un lado, incrementa la incorporación de materia orgánica al suelo y, por otro, protege al suelo de la erosión. Para el uso de pastoreo, el mayor contenido de materia orgánica del suelo, aunque de menor magnitud que para el uso de bosque, debe asociarse con la vegetación permanente de gramíneas que cubre al suelo, que aunque está sometida a un pastoreo permanente, da lugar a un mayor contenido de materia orgánica, ya sea tanto por una

mayor incorporación de residuos, especialmente raíces, como por una menor erosión.

El factor cobertura y manejo de la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo presenta un efecto curvilínea negativo sobre el contenido de materia orgánica del suelo. Aunque este efecto se observa con claridad de manera gráfica, puede estar confundido en cierto grado con el uso de bosque y de pastoreo, a través de sus respectivas variables auxiliares.

Por otra parte, el factor cobertura y manejo se encuentra modificado por los factores grado y longitud de la pendiente, por medio de las interacciones negativas con ellos. Esto quiere decir que a mayor grado y longitud de la pendiente, mayor es el efecto depresivo del factor cobertura y manejo sobre el contenido de materia orgánica del suelo; mas esta interacción negativa también indica que a mayor valor del factor cobertura y manejo es mayor el efecto depresivo de los factores grado y longitud de la pendiente sobre el contenido de materia orgánica del suelo.

La estimación de los valores actuales del factor cobertura y manejo para las distintas condiciones de uso y manejo no ofreció mayores dificultades, según las mediciones realizadas por Frausto (1990) y con base en los valores determinados por Wischmeier y Smith (1978). Sin embargo, la estimación del valor para las distintas condiciones de uso y manejo durante el período desde 1950 hasta el presente, si presentó algunos problemas, ya sea por información incompleta o dudosa sobre los cultivos y descanso, y secuencia de éstos, o por las variaciones del factor para un mismo uso de acuerdo con las variaciones del manejo, con relación a pastoreo, variedades, fertilización, control de malezas etcétera. En relación con la información incompleta y dudosa, esto dió lugar a descartar alguna información poco confiable.

Para el uso de cultivos, según las determinaciones realizadas por Frausto (1990), los valores medios del factor cobertura y manejo para los distintos cultivos son los siguientes:

- Alpiste:	0.29
- Trigo:	0.38
- Frijol al voleo o en surco:	0.50
- Maíz:	0.58
- Maíz cajete:	0.55
- Maíz-frijol:	0.53

Para el caso de descanso, es de esperar que el factor cobertura y manejo muestre algún grado de variación, pues el descanso, además de que puede implicar la presencia de residuos, según el cultivo anterior, implica la presencia de maleza, cuya población y especies suelen ser variables. De acuerdo con la información obtenida, el valor del factor cobertura y manejo para el descanso, varió de 0.10 a 0.36.

Para el uso de pastoreo, el factor cobertura y manejo mostró bastante variación en sus valores actuales, de 0.10 a 0.36 según Frausto (1990). Esto puede estar indicando que las estimaciones del factor durante el periodo desde 1950 hasta el presente, pueden mostrar algún grado de imprecisión.

Para el uso de bosque, el factor cobertura y manejo tomó valor de cero para suelos con cobertura de hojas y mantillo, y de hasta 0.08 para bosque menos denso con algo de pastoreo, según las mediciones hechas por Frausto (1990).

Al estimar los contenidos medios de materia orgánica del suelo para los distintos usos del suelo, o según la variación de los respectivos valores del factor cobertura y manejo observada durante el periodo de 1950 a 1988, y suponiendo un uso constante del suelo en este periodo, se tendría que:

- el uso de bosque, para 40% de grado de la pendiente y 200 m de longitud de la pendiente, con cobertura de hojas y mantillo sobre el suelo y sin erosión, y por tanto con un valor de cero para el factor cobertura y manejo, presenta un contenido medio de materia orgánica del suelo de 7.43%, el que disminuye a 6.11% para el uso de bosque con algo de pastoreo, con un valor de 0.08 para el factor cobertura y manejo;
- el uso de pastoreo, para 20% de grado de la pendiente y 80 m de longitud de la pendiente, con valores del factor cobertura y manejo de 0.10 a 0.36, presenta contenidos medios de materia orgánica del suelo de 3.97 a 1.81%, respectivamente;
- el uso de cultivos, para 10% de grado de la pendiente y 100 m de la longitud de la pendiente, indica contenidos medios de materia orgánica del suelo de: a) 2.07% para

alpiste, b) 1.41% para trigo, y c) 0.60% para frijol al voleo o en surco, y,

- el uso del cultivos, para 10% de pendiente y 100 m de longitud de la pendiente, presenta contenidos medios de materia orgánica del suelo de: a) 0.56% para maíz asociado con frijol, b) 0.43% para maíz cajete, y c) 0.25% para maíz solo.

Dentro de este efecto del factor cobertura y manejo está implícito el uso del suelo, en términos de que un suelo bajo cultivo normalmente muestra menores contenidos de materia orgánica que uno bajo pastoreo y bosque, y que un suelo bajo pastoreo muestra a su vez menores contenidos de materia orgánica que uno bajo bosque, como ya se mencionó. Sin embargo, también es cierto que el factor cobertura y manejo se relaciona con las pérdidas de suelo, a través de la protección vegetal de la superficie al impacto de las gotas de lluvia y de su efecto sobre el escurrimiento superficial. De esta manera, resulta explicable el menor contenido de materia orgánica del suelo con uso de bosque con pastoreo en relación con el uso de bosque sin pastoreo, con uso de pastoreo con menor cobertura vegetal en relación con mayor cobertura vegetal, y de los cultivos menos densos en relación con los más densos según el orden siguiente: maíz y sus distintos sistemas, frijol al voleo o en surco, trigo y alpiste.

Los factores grado y longitud de la pendiente variaron de 0 a 40% y de 1 a 345 m, respectivamente. Ellos variaron en sus valores durante el periodo de 1950 a 1988 debido a la construcción de bordos y terrazas, y a la destrucción posterior de éstos en algunos casos y a la formación de cárcavas en otros.

La interacción negativa de estos factores con el factor cobertura y manejo indica que, a partir del valor cero del factor cobertura y manejo, para el uso de bosque, con cobertura de hojas y mantillo y sin erosión, hasta los valores más altos para los distintos sistemas de maíz, el efecto negativo del factor cobertura y manejo sobre el contenido de materia orgánica del suelo se incrementa a medida que aumenta el grado y longitud de la pendiente.

Como ejemplo, en el Cuadro 2 se presenta una estimación del efecto depresivo medio de los factores grado y longitud de la pendiente sobre el contenido de materia orgánica del suelo, para el caso de los cultivos de alpiste y frijol.

Cuadro 2. Efecto de los factores grado y longitud de la pendiente sobre el contenido de materia orgánica del suelo para los cultivos de alpiste y frijol.

Cultivo	Valores de los factores grado (G) y longitud (L) de la pendiente		Contenido de materia orgánica del suelo (%)
	G (%)	L (m)	
Alpiste	5	50	2.25
	15	200	1.80
Frijol	5	50	0.86
	15	200	0.18

La información del Cuadro 2 permite observar la importancia que tiene en los suelos agrícolas de la zona, por un lado, disminuir el grado y longitud de la pendiente, a través de obras de conservación como bordos y terrazas, y por otro, no sembrar en suelos con pendientes no apropiadas para la siembra de cultivos, y de acuerdo con sus coberturas.

El factor años de fertilización inorgánica en los suelos con uso de cultivos, varió de 0 a 23 años en el periodo de 1950 a 1988 observándose en una mayor frecuencia de fertilización en las últimas décadas, y a su vez, las frecuencias de clases siguientes:

Clase de años con fertilización inorgánica	Frecuencia (%)
0	37
1-5	35
6-10	11
11-15	15
> 15	2

El efecto positivo del factor años con fertilización inorgánica indicaría que al fertilizar se obtiene un mejor desarrollo del cultivo, y probablemente de maleza en muchos casos, y como consecuencia, una mayor cobertura vegetal del suelo y disminución de pérdidas por erosión, a la vez que una mayor adición de residuos orgánicos (especialmente raíces) al suelo.

Por último, cabe señalar que los factores que se consideraron en el estudio y que no quedaron incluidos en las funciones de respuesta, fueron: la textura del horizonte superficial del suelo, la pedregosidad superficial, la profundidad del suelo y la fertilización orgánica.

De los factores de suelo, se debe reconocer que éstos han variado durante el periodo de 1950 a 1988, debido a cambios en el uso del suelo y a la erosión de los horizontes superficiales ocurrida en muchos de los suelos, y en el caso de la profundidad, también debido a la construcción de terrazas o bordos. De esta manera, los valores observados en la actualidad no son necesariamente representativos para el periodo anterior al año 1988, hasta el año 1950. Sobre el factor fertilización orgánica, se debe señalar que ésta es de poca magnitud en la región.

CONCLUSIONES

De acuerdo con los resultados obtenidos, se concluye para los suelos Depositacionales y Blancos de la zona de Nochixtlán, Oax., con base en las localidades de Zaayucuanino, Yucuita y los Angeles, que:

- Los suelos Blancos pueden presentar mayores contenidos de materia orgánica que los suelos Depositacionales.
- Los sitios de acumulación presentan mayores contenidos de materia orgánica del suelo.
- El uso de bosque del suelo, con cobertura de hojas y mantillo y sin erosión, presenta un valor medio de materia orgánica del suelo de 7.43%, el que va disminuyendo de acuerdo con el uso y manejo del suelo, expresado en términos del uso de bosque, pastoreo y cultivos, y del factor cobertura y manejo de la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo, considerado constante durante el periodo de 1950 a 1988.
- El grado y longitud de la pendiente afectaron negativamente el contenido de materia orgánica del suelo, a través de sus interacciones con el factor cobertura y manejo de la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo.
- En los suelos de uso agrícola, los años con fertilización inorgánica afectaron positivamente el contenido de materia orgánica del suelo.

LITERATURA CITADA

- FRAUSTO R., J. 1987. Identificación y caracterización de los principales factores físicos y sociales que influyen en el deterioro del recurso suelo y agua en el Distrito Político de Nochixtlán, Oax., México. (Mimeografiado).
- FRAUSTO R., J. 1990. Caracterización de la erosión hídrica laminar y en arroyuelos. Caso: Paraje Zaayucuanino, del Distrito Político de Nochixtlán, Oax. Tesis de Maestría en Ciencias. Colegio de Postgraduados. Montecillo, México, México.
- DEAGOSTINI, R.D. 1978. Introducción a la fotogrametría. Centro Interamericano de Fotointerpretación. Instituto Colombiano para el Fomento de la Educación Superior. Bogotá, Colombia.
- GARCIA, E. 1981. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. Instituto de Geografía, UNAM, México, D.F.
- GREELAND, D.J. and M.H.B. HAYES. 1978. The chemistry of soil constituents. John Wiley and Sons. New York, N.Y., USA.
- JENKINSON, D.S. 1988. Soil organic matter and its dynamic. pp. 564-607. In A. Wild (ed.) Russell's soil conditions and plant growth. 11 th edition John Wiley and Sons. New York, N.Y., USA.
- VOLKE H., V. y J.D. ETCHEVERS B. 1988. Calibración del análisis de suelo para nitrógeno y fósforo en maíz de temporal en suelos de la Mixteca de Cárdenas, Oaxaca. *Agrociencia (México)* 73: 19-42.
- WHITEHEAD, D.C., H. BUCHAN and R.D. HARTLEY. 1975. Components of soil organic matter under grass and arable cropping. *Soil Biol. Biochem.* 7: 65-71.
- WISCHMEIER, W.H. y D.D. SMITH. 1978. Predicting rainfall erosion losses: a guide to conservation planning. *Agricultural Handbook No. 282.* Dept. of Agriculture, Washington, D.C., U.S.A.

SITUACION DE LOS MICRONUTRIMENTOS EN LOS SUELOS AGRICOLAS DEL ESTADO DE TLAXCALA

Micronutrients in the Agricultural Soils of Tlaxcala, Mexico

Lourdes Cruz H. y J.D. Etchevers B.

Centro de Edafología, Colegio de Postgraduados,
56230 Montecillo, Méx.

Palabras claves: Micronutrientes, Análisis químico de suelos, Extracción de Fe, Cu, Zn y Mn con DTPA.

Index words: Micronutrients, Soil testing, DTPA-extractable Fe, Cu, Zn and Mn.

RESUMEN

No es muy frecuente que se produzca un déficit de micronutrientes en los cultivos, ya que en la mayoría de los casos, éstos satisfacen su demanda nutrimental con el aporte del suelo. Sin embargo, recientemente se han observado y reportado, con relativa frecuencia, algunas anomalías micronutrientales en México, particularmente de Fe y Zn en suelos de origen volcánico cultivados con maíz, en suelos tratados con dosis elevadas de fertilizante fosfatado y en aquéllos con reacción muy ácida o fuertemente alcalina. Estas deficiencias disminuyen los rendimientos.

Para cuantificar la magnitud del suministro de micronutrientes se emplean, por lo general, métodos químicos que proporcionan un índice relativamente exacto de la cantidad aprovechable de éstos en el suelo, y ofrecen la ventaja de ser rápidos y económicos. El objetivo de este trabajo fue conocer la

extractabilidad del Fe, Cu, Zn y Mn en los suelos de Tlaxcala, para completar la información nutrimental de este estado generada por los autores y presentada en otro artículo (Cruz *et al.*, 1992).

Se obtuvieron 269 muestras de suelo (profundidad 0 a 20 cm) de campos sembrados con maíz y cebada.

Previamente se habían identificado 10 series de suelo; todas éstas estuvieron representadas en el muestreo. La extracción de los micronutrientes (Cu, Fe, Zn y Mn) se efectuó con DTPA 0.005 M a pH 7.3 y los resultados obtenidos se agruparon en tres categorías (baja, marginal y adecuada) reportadas en la literatura.

Todas las series de suelo presentaron niveles adecuados de Fe y Mn. Las concentraciones de Cu se consideraron suficientes para abastecer a los cultivos, excepto en una pequeña proporción de los suelos de las series Huamantla, Altzayanca y La Malinche. Los niveles de Zn resultaron bajos en la mayoría de las series. Las excepciones fueron las series La Malinche, Calpulalpan y Nativitas, en donde las concentraciones de Zn fueron adecuadas pero sólo en un poco más del 50 % de los sitios muestreados. La concentración del Zn en las plantas de maíz, de cebada y, probablemente, en otros cultivos, debe vigilarse más de cerca porque puede transformarse en un factor

Recibido 05-92.

limitante de la producción. La corrección de un déficit de este elemento es relativamente fácil. La concentración baja de Zn observada en algunos sitios, puede ser atribuida a una interacción negativa con el P, cuya concentración es alta en estos suelos.

SUMMARY

Micronutrient deficiencies are uncommon in most cultivated plants. The micronutrients required by crops are usually supplied by the soil native reserves. However, in recent years, several plant nutritional problems have been attributed to micronutrients malnutrition, particularly to Zn deficiency in corn growing on volcanic soils and in some other crops fertilized with high rates of P; and also to Fe and Mn in calcareous soils, and to Zn, Mn and Cu excesses in very acid soils. Micronutrients deficiency reduces expected yields. Scarce research has been conducted on this subject in Mexico.

Soil testing has been used in several countries to assess soil micronutrients availability. Simplicity, efficiency and low cost are the arguments given for such decision. The objective of the present work was to evaluate the micronutrient status of the agricultural soils from Tlaxcala (Mexico) by means of soil testing. This information will complement a macronutrient survey conducted by the authors and published elsewhere (Cruz *et al.*, 1992).

Soil samples (269) were obtained from 0 to 20 cm depth at fields planted with corn and barley. The 10 soil series mapped in the state were represented in the collected samples. Micronutrients (Cu, Zn, Fe, and Mn) were analyzed by atomic absorption spectrophotometry in soil extracts obtained by shaking the soil with DTPA 0.005 M pH 7.3. Soil test results were grouped according to availability classes (low, marginal and adequate) which limits are reported in the literature.

Iron and Mn extracted from most soil samples and all soil series were considered adequate for plant growth. In contrast, Cu and Zn concentrations were low in two and seven soil series, respectively. In the latter a little less than 50% of the soil samples from each series presented concentrations considered inadequate. Zn

concentration in corn and barley, as well as in some other crops, must be closely observed in Tlaxcala soils to prevent the appearance of deficiency levels, which would reduce expected yields. Low soil Zn levels could be attributed to the high P levels in Tlaxcala soils.

INTRODUCCION

La investigación con micronutrientos, que se ha realizado en México, es relativamente más abundante en suelos con reacción alcalina (Amparano, 1973; Longoria, 1973; Pérez, 1973; Sillampaa, 1982, y Camacho *et al.*, 1993), que en suelos de naturaleza ácida. En estos últimos, se han estudiado algunos problemas micronutrientales, como por ejemplo, los síntomas de deficiencia observados por Villarreal (1979), en zonas cercanas a Cd. Serdán, Puebla.

Los niveles micronutrientales obtenidos en algunos trabajos realizados en México, no pueden servir como índices de disponibilidad, porque se usaron métodos químicos de extracción, que no surgieron de un proceso de correlación previo.

El análisis de los micronutrientos con las soluciones extractoras comunes (DTPA, EDTA, HCl, H₂SO₄, NaHCO₃, etc.) indica la cantidad del elemento que se encuentra en forma soluble y parte del lábil. Es posible tener una idea indirecta sobre su disponibilidad, mediante la estimación cuantitativa o cualitativa de la materia orgánica y de los minerales del suelo (Lindsay y Cox, 1985).

Las concentraciones micronutrientales tanto en la solución del suelo, como en la fracción lábil, son muy bajas, por esto, es necesario que las soluciones extractoras de micronutrientos actúen desplazando los iones de intercambio y disolviendo algo de los sólidos lábiles, lo cual se logra con la actuación de ácidos, bases y agentes quelatantes. Estos últimos tienen la habilidad comprobada de simular mejor el ambiente químico en los suelos neutros y de reacción alcalina (Lindsay y Norvell, 1978; Camacho *et al.*, 1993), sin embargo, en suelos ácidos no se ha demostrado suficientemente dicha habilidad (Lindsay y Cox, 1985). Por esto, es importante realizar un mayor trabajo de correlación con micronutrientos en suelos ácidos, empleando agentes quelatantes.

En este trabajo se empleó el DTPA como solución extractora, porque presenta la combinación más favorable de constantes químicas de estabilidad para acomplejamiento simultáneo de Fe, Cu, Zn y Mn (Loué, 1988).

En Tlaxcala, existe escasa información sobre la situación de los micronutrientos en los suelos, esto se debe entre otros factores, a que no es fácil identificar un déficit de micronutrientos en las plantas, porque la demanda de estos elementos por los cultivos es relativamente baja y además porque los elementos menores son muy susceptibles de sufrir cambios en su naturaleza química, o alteraciones por contaminación producidas en las diferentes etapas del análisis de suelo (Legett y Argille, 1983).

El objetivo del presente trabajo fue determinar la situación del Fe, Cu, Zn y Mn en los suelos de Tlaxcala, para completar la información nutrimental de este estado, generada por los autores en el pasado (Cruz *et al.*, 1992). Dicha información servirá para establecer prioridades en la resolución de los problemas detectados, así como identificar zonas deficientes de algún micronutriente en particular, con el fin de implementar prácticas de manejo adecuadas y satisfacer los factores que estén limitando los rendimientos.

MATERIALES Y METODOS

El muestreo se realizó en los meses de mayo a septiembre de 1987. Se obtuvieron 269 muestras de suelo (profundidad 0 a 20 cm) de campos sembrados con maíz y cebada, distribuidas en las series de suelo identificadas por Rodríguez (1987). Las muestras de suelo se secaron al aire, se molieron a través de una malla de 2 mm de acero inoxidable. La extracción de los micronutrientos (Cu, Fe, Zn y Mn) se llevó a cabo con una solución de DTPA 0.005M a pH 7.3 en una relación con el suelo de 1:2 y con 120 min de agitación recíproca (Viets y Lindsay, 1973). La concentración se determinó por espectrofotometría de absorción atómica, con llama de acetileno-aire.

Se obtuvieron los valores medios, el intervalo de variación, las desviaciones estándar y las distribuciones de frecuencia de los contenidos micronutrientales.

La jerarquización nutrimental empleada fue la sugerida por Viets y Lindsay (1973), la cual se presenta a continuación:

Cuadro 1. Clases de disponibilidad de Cu, Fe, Zn y Mn extractables en DTPA, pH 7.3 (Viets y Lindsay, 1973).

	Cu	Fe	Zn	Mn
	ppm			
bajo	≤0.2	≤2.5	≤0.5	≤1.0
marginal		>2.5 ≤4.5	>0.5 ≤1.0	
adecuado	>0.2	>4.5	>1.0	>1.0

RESULTADOS Y DISCUSION

Las concentraciones medias, mínimas, máximas y las desviaciones estándar de Cu, Fe, Zn y Mn para cada serie se presentan en el Cuadro 2, así como sus correspondientes valores de pH, materia orgánica, arcilla y P extractable Olsen, estas últimas generadas en trabajos previos (Cruz, 1990 y Rodríguez, 1987). El pH, la materia orgánica y la arcilla, son características que en mayor o menor grado influyen en la disponibilidad de estos micronutrientos. Existen otros factores que afectan en forma particular a estos elementos, como el contenido de CaCO_3 y HCO_3^- , en suelos alcalinos para el Fe; la humedad y la actividad microbiana para el Mn; la temperatura en el caso del Zn, y en general, los afectan algunas interacciones nutrimentales (Loué, 1988).

En los suelos de Tlaxcala predomina una reacción ácida. En ocho de las diez series en las que se dividió al estado (Rodríguez, 1987), más del 80% de los suelos exhiben un pH entre 4.0 y 6.5, el cual favorece la solubilidad de los micronutrientos estudiados. El contenido de materia orgánica en casi todas las series y en más del 80% de sus muestras es menor al 2%, es decir bajo, pero aunque no se tienen datos sobre la naturaleza específica de dicha materia orgánica, es posible inferir que los aportes de micronutrientos por este concepto a la solución del suelo, han de ser escasos.

El contenido de arcilla de estos suelos, varía entre 9 y 47%, sin embargo, el 66% de las muestras presenta menos de 25% de arcilla,

Cuadro 2. Valores medios, mínimos, máximos y desviaciones estándar de los contenidos de Cu, Fe, Zn y Mn extractables con DTPA, y de pH, materia orgánica (M.O.), arcilla y P-Olsen (Cruz, 1990) y la relación P/Zn en las muestras de suelo (269) de Tlaxcala.

Serie ¹⁾	Cu	Fe	Zn	Mn	pH	Arcilla	M.O.	P-Olsen	P/Zn
	ppm				H ₂ O 1:2	- - - % - - -	- - -	- ppm -	
Altzayanca (n=42)									
\bar{X}	0.6	24	2.3	23	5.6	15	0.7	31	13.5
Min	0.2	7	0.1	7	4.0	9	0.2	3	
Max	2.0	60	12	50	7.6	23	1.5	90	
S	0.4	12	4.4	11	0.7	3.5	0.3	22	
Calpulalpan (n=9)									
\bar{X}	1.1	21	1.3	37	6.5	22	1.8	11	8.5
Min	0.6	11	0.6	16	5.8	15	1.1	7	
Max	1.8	32	2.9	66	7.3	29	2.8	29	
S	0.4	7	0.8	17	0.5	4.2	0.6	7	
Huamantla (n=9)									
\bar{X}	0.4	30	1.3	19	5.2	14	0.8	22	16.9
Min	0.2	21	t ²⁾	5	4.6	11	0.1	4	
Max	0.9	40	4.4	41	6.5	21	1.3	46	
S	0.3	7	1.4	12	0.5	3.5	0.3	13	
La Malinche (n=30)									
\bar{X}	1.0	30	1.8	18	5.6	16	1.1	29	16.1
Min	0.2	12	t	4	4.3	11	0.3	5	
Max	2.8	80	8.5	64	7.4	39	2.3	89	
S	0.5	15	1.7	14	0.6	6.0	0.5	19	
Microondas (n=6)									
\bar{X}	0.7	28	1.0	18	5.8	19	0.9	25	25.0
Min	0.3	15	0.6	8	4.9	13	0.5	16	
Max	1.0	38	2.6	31	7.1	25	1.1	42	
S	0.3	8	0.7	8	0.7	4.3	0.2	9	
Muñoz (n=39)									
\bar{X}	1.8	36	1.2	51	5.9	27	1.7	19	15.8
Min	0.6	8	0.4	11	5.1	17	0.8	2	
Max	4.4	84	3.1	108	7.4	37	3.2	70	
S	0.8	17	0.7	21	0.5	5.1	0.7	17	
Nativitas (n=38)									
\bar{X}	1.6	15	1.3	26	7.4	27	1.5	28	
Min	0.6	6	0.4	7	5.4	13	0.7	2	
Max	2.8	80	3.2	66	8.8	43	2.8	107	
S	0.6	12	0.7	15	0.9	7.6	0.5	23	21.5
Terrenate (n=12)									
\bar{X}	0.9	26	1.2	36	5.4	19	1.1	25	20.8
Min	0.6	11	0.2	16	4.5	15	0.5	7	
Max	1.7	38	5.1	56	6.6	21	2.3	78	
S	0.3	7	1.3	11	0.5	1.8	0.6	18	
Tlaxcala (n=44)									
\bar{X}	1.5	30	1.1	26	5.7	25	1.0	20	18.2
Min	0.8	5	0.2	10	4.4	13	0.2	0	
Max	3.2	108	4.0	145	7.2	47	1.9	55	
S	0.5	21	0.8	45	0.7	7.1	0.4	15	
Xaltocan (n=40)									
\bar{X}	1.5	28	1.4	48	5.7	25	1.3	17	12.1
Min	0.6	9	0.4	14	4.0	13	0.3	1	
Max	2.8	76	8.4	90	7.6	45	2.7	78	
S	0.6	14	1.6	21	0.8	5.9	0.6	15	

- 1) n = número de muestras;
 \bar{X} , min y max = valor medio, mínimo y máximo;
 S = desviación estándar
- 2) t = trazas;

lo que sugiere que la mayoría de los suelos son de naturaleza arenosa, con una superficie específica baja. Excepto en la serie Calpulalpan, entre el 50 y el 100% de las muestras de las otras series, tuvieron más de 12 ppm de P extractable Olsen, que corresponde a la categoría alta. El 36% del total de suelos contiene más de 24 ppm de P-Olsen. Estos valores pudieran producir un efecto antagónico con el Zn, el cual se discutirá más adelante.

En la Figura 1 se presentan las distribuciones de frecuencia del contenido de micronutrientes en las series de suelo identificadas en Tlaxcala por Rodríguez (1987).

Las series de suelo presentaron niveles de Cu considerados adecuados, las excepciones las constituyeron las series La Malinche, Altzayanca y Huamantla, donde sólo el 5, 20 y 45% de las muestras, respectivamente, no sobrepasaron el valor límite correspondiente a un nivel adecuado. En dichas series se presentaron los contenidos más bajos de materia orgánica y de arcilla, lo cual podría contribuir a explicar los niveles deficitarios de Cu en estos suelos.

Es necesario mencionar que todas las concentraciones de Cu medidas fueron al menos iguales al nivel crítico de 0.2 ppm, lo cual podría indicar un bajo nivel de sensibilidad de la técnica espectrofotométrica empleada. Asimismo, Juste (1983), afirma que el DTPA, tiene el defecto de extraer concentraciones de Cu muy bajas, lo cual hace que se incurra a menudo en errores.

El 100% de las muestras de todas las series de suelo, presenta niveles adecuados de Fe (Figura 1), aún en los suelos de la serie Nativitas, donde prevalece un pH ligeramente alcalino (pH de 7.4). La disponibilidad de Fe en los suelos de Tlaxcala, obedece a la acidez que presentan (pH medio = 5.9).

El comportamiento químico del Mn es muy similar al del Fe. El Mn al igual que el Fe, se encuentra presente en niveles adecuados (>1.0 ppm), en el 100% de las muestras de todas las series.

La situación del Zn en estos suelos es un tanto heterogénea, ya que sólo entre el 16 y el 60% de las muestras dentro de cada serie, exhiben niveles superiores al considerado como

adecuado (> 1.0 ppm). Aún en estas circunstancias las plantas podrían tener problemas de abastecimiento de Zn, debido a la interacción entre el Zn y el P, fenómeno que se presenta cuando existen altos niveles del último elemento en el suelo (Takkar *et al.*, 1976). El valor medio de P Olsen para los suelos de Tlaxcala, ha sido reportado en 23 ppm (Cruz *et al.*, 1992), el cual fue considerado alto. El déficit de Zn se ha observado visualmente en algunas siembras de maíz en Tlaxcala, particularmente al inicio de la temporada de crecimiento, cuando el suelo aún tiene baja temperatura.

Córdoba (1982) observó en suelos de Tlaxcala, Puebla y Sinaloa, que las aplicaciones de P y Zn al suelo, producían efectos antagónicos sobre la concentración de estos nutrientes en diferentes órganos de las plantas de maíz, además, que al incrementarse las aplicaciones de P al suelo, se abatían significativamente los contenidos de Zn en el mismo.

Takkar *et al.* (1976) observaron que valores de la relación P/Zn en el suelo, superiores a 7.5, indicaban la posibilidad de que ocurriera una deficiencia severa de Zn en maíz y, consecuentemente, una respuesta altamente significativa a su aplicación. Valores entre 4 y 7.5 de la relación mencionada, eran un índice de una deficiencia moderada de Zn y una respuesta media a la aplicación de este micronutriente.

Los valores de la relación P/Zn de las series de suelo de Tlaxcala, variaron de 8.5 a 25.0 (Cuadro 2), todas ellas superiores a 7.5, límite señalado como crítico. El valor más bajo (8.5) tuvo lugar en la serie Calpulalpan, que se distingue de las otras porque tiene el valor medio de materia orgánica mayor (1.8%) y el pH más cercano a la neutralidad (6.5).

No obstante lo discutido anteriormente, no es muy común observar síntomas visuales de deficiencia de Zn en las plantas adultas de maíz y cebada en los suelos de Tlaxcala. Los síntomas sólo son evidentes cuando el problema de abastecimiento es grave. Pero también puede ser que la categorización nutrimental empleada (Viets y Lindsay, 1973) corresponda a un determinado potencial productivo y a la sensibilidad específica de una especie vegetal, que no coincide plenamente con las condiciones de los suelos de Tlaxcala, en los cuales, el maíz y la cebada presentan un

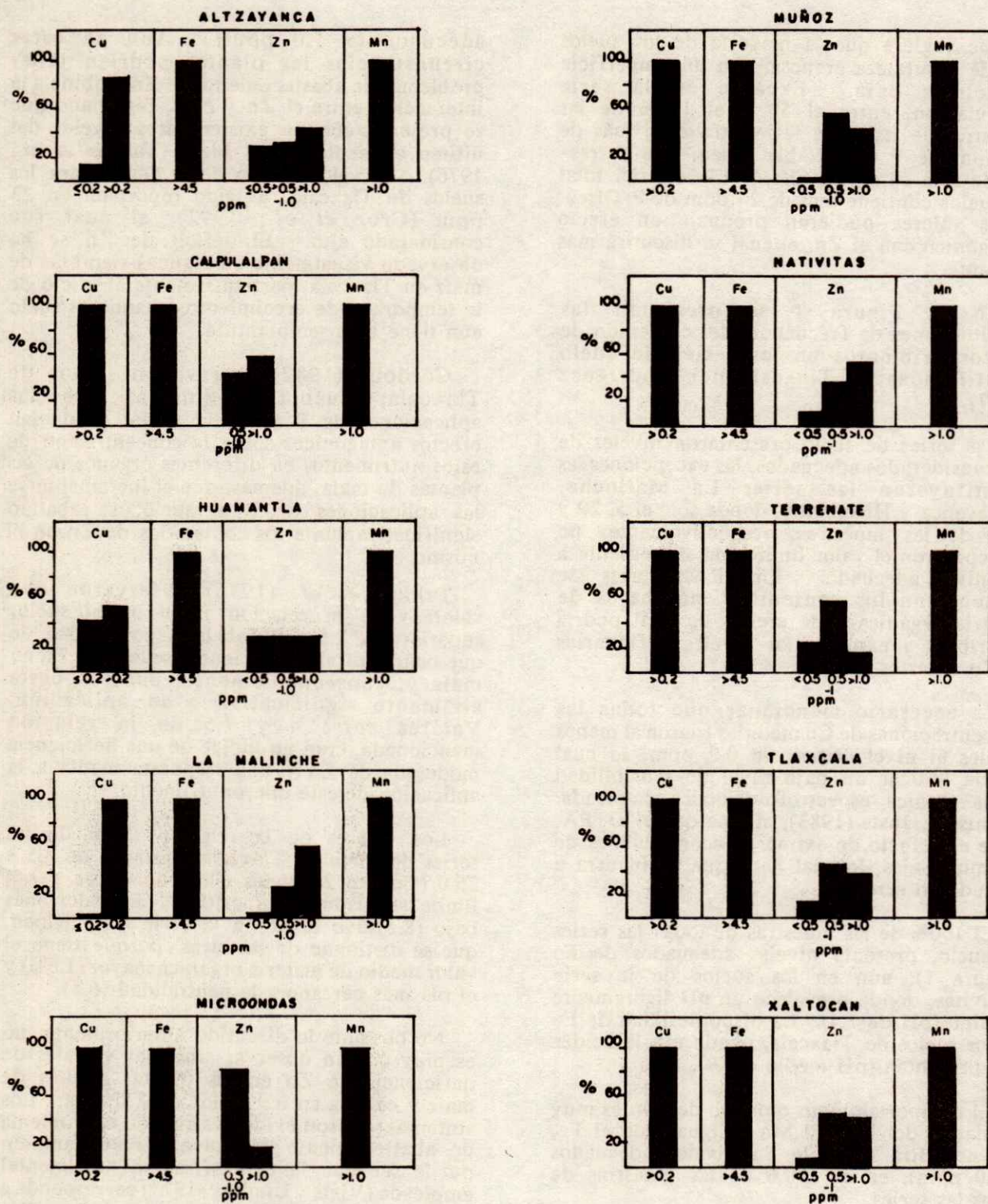


Figura 1. Distribución frecuencial del contenido de micronutrientes en las series de suelo de Tlaxcala.

potencial productivo que varía de 2 a poco más de 6 ton/ha, dependiendo de la zona.

La dificultad para establecer un diagnóstico nutrimental preciso, hace necesario el concurso de técnicas alternativas al análisis de suelo, como son la sintomatología visual y el análisis vegetal.

CONCLUSIONES

Todas las muestras de suelo de las series del estado de Tlaxcala presentaron niveles adecuados de Fe y Mn. Se obtienen concentraciones deficientes de Cu, sólo en las series de La Malinche, Altzayanca y Huamantla. El Zn es mayoritariamente deficiente en casi todas las series de suelo, excepto en La Malinche, Calpulalpan y Nativitas, donde las concentraciones bajas y marginales se manifiestan en un poco menos del 50% de los sitios muestreados. Las causas que producen la deficiencia de Zn requieren que se les estudie más profundamente.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al Dr. José Rodríguez S., y al M.C. Arturo Galvis S., por su colaboración en el muestreo de suelos correspondiente a este trabajo.

LITERATURA CITADA

- AMPARANO C., F. 1973. Evaluación del comportamiento y la susceptibilidad a la clorosis férrica de 14 variedades de soya en suelos calcáreos bajo condiciones de invernadero. Tesis de Maestría en Ciencias. Colegio de Postgraduados, Chapingo, México.
- CORDOBA J., J. J. 1982. Estudio del grado de aprovechamiento de Zn en el cultivo de maíz a diferentes niveles de P y sus interrelaciones. Tesis de Maestría en Ciencias. Colegio de Postgraduados, Chapingo, México.
- CAMACHO M., R., J. D. ETCHEVERS B., L. CRUZ H., V. VOLKE H. Y A. TRINIDAD S. 1993. Selección de método químico para la extracción de micronutrientes (Fe, Mn, Cu y Zn) en suelos del estado de Morelos. Agrocencia Serie Agua-Suelo-Clima: (en proceso).
- CRUZ H., M. L. 1990. Establecimiento de las dosis de fertilización fosfatada para maíz y cebada en suelos de Tlaxcala, mediante un modelo integral simplificado. Tesis de Maestría en Ciencias. Colegio de Postgraduados, Montecillo, México.
- CRUZ H., M. L., J. D. ETCHEVERS B., y J. RODRIGUEZ S. 1992. La situación del fósforo en los suelos de Tlaxcala. *Terra* 9(2):204-210
- CRUZ H., M. L., J. D. ETCHEVERS B., J. RODRIGUEZ S., A. GALVIS S. y R. M. LOPEZ R. 1992. Levantamiento nutrimental de los suelos del estado de Tlaxcala. *Agrocencia Serie Agua-Suelo-Clima* 3: (en prensa).
- JUSTE, C. 1983. Problèmes posés par l'évaluation de la disponibilité pour la plante des éléments traces du sol et de certains amendements organiques. *Science du sol* 2:109-122.
- LEGGETT, G. E., and D. P. ARGGILE. 1983. The DTPA extractable iron, manganese, copper, and zinc from neutral and calcareous soils dried under different conditions. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 47:518-522.
- LINDSAY, W. L., and F. R. COX. 1985. Micronutrient soil testing for the tropics. *Fert. Res.* 7:169-200.
- LINDSAY, W. L., and W. S. NORVELL. 1978. Development of a DTPA soil test for zinc, iron, manganese, and copper. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 42:421-428.
- LONGORIA G., G. A. 1973. Prevención de la clorosis férrica en suelos calcáreos mediante tratamientos de inundación. Tesis de Maestría en Ciencias. Colegio de Postgraduados, Montecillo, México.
- LOUE A. 1988. Los microelementos en agricultura. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid, España.
- PEREZ Z., O. 1973. Liberación de Fe asimilable, variaciones en las relaciones nutrimentales y contenido de clorofila en el maíz H-30, por efecto de inundación y adición de materia orgánica en dos suelos calcáreos. Tesis de Maestría en Ciencias. Colegio de Postgraduados, Montecillo, México.
- RODRIGUEZ S., J. 1987. Desarrollo de normas de fertilización para el cultivo de maíz y de cebada en el estado de Tlaxcala. Centro de Edafología, Colegio de Postgraduados, Montecillo, México. (Documento xerografiado).
- SILLAMPAA, M. 1982. Micronutrients and the nutrient status of soils: A global study. *FAO Soils Bulletin* 48.
- SHUMAN, L. M. 1975. The effect of soil properties on zinc adsorption by soils. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* 39:454-458.
- TAKKAR, N. P., M. S. MANN, R. L. BANSAL, N. S. RANDHAWA, and HARDEV SINGH. 1976. Yield and uptake response of corn to zinc, as influenced by phosphorus fertilization. *Agron. J.* 68:942-946.
- VIETS, F. G., and W. L. LINDSAY. 1973. Testing soils for Zn, Cu, Mn and Fe, pp:153-172. In: L. M. WALSH and J. D. BEATON (eds.). *Soil Testing and Plant Analysis*. 2nd ed. Soil Science Society of America. Madison, Wisconsin.
- VILLARROEL A., J. M. 1979. Respuesta del maíz y frijol a la aplicación de gallinaza, estiércol vacuno, Zn, Mn, Fe, en suelos de Cd. Serdán, Puebla, bajo condiciones de campo e invernadero. Tesis de Maestría en Ciencias. Colegio de Postgraduados, Montecillo, México.

**EVALUACION DE TRES VARIETADES CRIOLLAS DE MAIZ ASOCIADAS CON
FRIJOL EN CONDICIONES DE TEMPORAL EN LOS
VALLES CENTRALES DE OAXACA**

Evaluation of Three Native Maize Varieties Associated with Beans
Under Rainfed Conditions in the Central Valleys of Oaxaca

Mario García Solorio y Jaime Ruiz Vega

Escuela Técnica Agropecuaria, Zirándaro, Gro.

INIFAP, Campo Experimental Valles Centrales, Apartado Postal 33,
Sucursal "B", 68000 Oaxaca, Oax.

Palabras clave: Asociación maíz-frijol,
Eficiencia relativa de la tierra.

Index words: Dry bean-corn intercrop, Land
equivalent ratio.

RESUMEN

Con los objetivos de evaluar el comportamiento de una variedad criolla de frijol de semi-guía en asociación con tres variedades criollas de maíz sembradas en dos arreglos topológicos, y determinar la densidad óptima de siembra de frijol en asociación, se realizó en 1989 un experimento de campo en los Valles Centrales de Oaxaca. Los rendimientos de grano de frijol solo fueron afectados por su densidad de siembra, pero el rendimiento de forraje fue afectado por el arreglo topológico, lo cual resultó en un incremento del rendimiento de 474 kg ha⁻¹ al sembrar dos plantas en lugar de tres plantas mata⁻¹. El rendimiento de forraje de maíz fue afectado por el arreglo topológico y la interacción variedad x arreglo topológico. De lo anterior se concluye que es recomendable sembrar el frijol a una densidad de 100 mil plantas ha⁻¹ con la variedad de maíz intermedia, en un arreglo topológico de dos plantas de maíz/mata. Aun cuando este tratamiento mostró la mayor eficiencia relativa de la

tierra (ERT), su relación beneficio/costo fue casi duplicada por el frijol en monocultivo sembrado a 100 mil plantas ha⁻¹. Finalmente, se hace énfasis en la necesidad de utilizar la relación beneficio/costo como un criterio adicional a la ERT al evaluar cultivos en asociación.

SUMMARY

In order to evaluate grain and forage yields of a dry-bean landrace intercropped with three corn landraces of different life cycle, planted under two topological arrangements, and to determine the optimal rate of planting for dry beans, a field experiment was established in 1989. Dry-bean seed yields were affected significantly by planting rates only, however forage yields were affected significantly by both planting rates and corn landraces. Corn yields were significantly affected by topological arrangement; an extra 474 kg ha⁻¹ of grain were produced under the two plants hill system. Corn forage were significantly affected by the interaction topological arrangement x corn landrace. These results support the conclusion that is better to plant dry-beans at a density of 100 thousand plants ha⁻¹ intercropped with an intermediate corn landrace planted at two plants per hill. Even though this treatment gave the highest land equivalent ratio (LER), its cost/benefit ratio was almost half the obtained with

Recibido 11-91.

monoculture of dry-bean planted at a seeding rate of a 100 thousand plant ha^{-1} . Finally, it is stressed the need to include the cost/benefit ratio as a additional criterion when evaluating the LER of crops growing in mixtures.

INTRODUCCION

La asociación maíz-frijol es un sistema que se ha practicado desde la época precortesiana, siendo todavía importante en México y varios países latinoamericanos. En regiones como los Valles Centrales de Oaxaca, donde predomina la agricultura tradicional, un 87% del maíz de temporal se sembraba en 1975 en asociación con otros cultivos (PRONDAAT, 1976). Aun cuando podría haber una tendencia a la disminución en algunas asociaciones como maíz-frijol de mata y maíz-calabaza otras podrían estarse incrementando, según indica un estudio preliminar realizado en la región por INIFAP en 1991. La Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos reporta en 1990 una superficie de 98,859 ha de maíz cultivado solo, lo cual representa el 71% de la superficie total sembrada, y no reporta cifras para las asociaciones maíz-frijol de guía-calabaza, maíz-calabaza y maíz-cacahuete.

A principios de la década de los setentas se inicia la investigación formal en cultivos asociados en México (Lépiz, 1974; Moreno *et al.*, 1973). A este respecto, se ha estudiado el efecto de densidades de población, variedades y arreglo topológico sobre la eficiencia relativa de la tierra, pero debería considerarse también la estabilidad del rendimiento de las asociaciones, arquitectura de la planta, resistencia a la baja fertilidad y a los insectos, insensibilidad al fotoperíodo y el aspecto socioeconómico (Pinchinat *et al.*, 1976). Los estudios asociados han permitido concluir que en general las asociaciones utilizan más eficientemente la tierra, y que podrían ser una alternativa para incrementar la productividad de agricultores con poca tierra y capital.

Con los objetivos de evaluar el comportamiento de tres variedades criollas de maíz en asociación con frijol tipo semi-guía, así como el efecto de dos arreglos topológicos y tres densidades de siembra de maíz en condiciones de temporal, sobre los rendimientos y la eficiencia relativa de la tierra,

se realizó un experimento de campo en 1989 en los Valles Centrales de Oaxaca.

REVISION DE LITERATURA

Varios autores han reportado mayores eficiencias en el uso de la tierra al sembrar el frijol en asociación con maíz (Alvim y Alvim, 1969; Francis *et al.*, 1976; López, 1983; Moreno, 1972) pero hay pocas referencias en cuanto a la estabilidad de los rendimientos. En Oaxaca se ha determinado que la asociación maíz-frijol de semi-guía tiene más estabilidad que otras asociaciones debido a la precocidad y menor uso consuntivo del frijol (Ruiz, 1987).

La mayor eficiencia en el uso de la tierra con la asociación maíz-frijol proviene de un uso complementario de recursos en particular el uso de energía solar y nutrimentos. Lépiz (1978) determinó que el frijol en asociación está limitado por la cantidad de radiación solar que recibe, por lo que recomendó ampliar lo más posible la distancia entre matas de maíz.

Uno de los componentes agronómicos más estudiados ha sido la densidad de población. Moreno (1972) determinó que en Puebla las densidades óptimas para la siembra de la asociación eran de 40 mil plantas de maíz y 90 mil plantas de frijol por hectárea. De acuerdo con Lépiz (1978), quien revisó siete estudios realizados en los Valles Altos de Puebla, Tlaxcala y México, la densidad de siembra óptima de maíz se ubicaba entre 30 y 40 mil plantas ha^{-1} y la del frijol entre 60 y 90 mil plantas ha^{-1} . En la Fraylesca, Chiapas, Carrizales (1983) reportó máximos rendimientos de ambos cultivos con 30-40 mil plantas ha^{-1} de maíz y 70-100 mil plantas de frijol ha^{-1} .

El arreglo topológico en el cual se intercala el frijol entre las matas de maíz ha producido frecuentemente las más elevadas eficiencias relativas de la tierra (Andrade *et al.*, 1974; López, 1983), debido a que el maíz puede interceptar más radiación, disminuye la temperatura del aire y del suelo y favorece el desarrollo del frijol (Cantú, 1985). Sin embargo, la ERT no es un buen indicador de la conveniencia económica de la asociación.

Las variedades criollas de maíz y frijol han superado los rendimientos de variedades

introducidas en zonas de temporal deficiente, gracias a la selección que los productores han realizado a través de los siglos, lo cual ha permitido obtener ecotipos adaptados a las condiciones climáticas locales (Ruiz, 1990). Esquivel (1978) observó que en el área del Plan Puebla las variedades de maíz criollo se adaptaban mejor que los híbridos al asociarse con frijol. También la variedad criolla superaba en rendimientos a la variedad mejorada, pero causaba un mayor acame del maíz.

MATERIALES Y METODOS

El experimento se estableció en terrenos del ITA No. 23, en la localidad de Nazareno Xoxocotlán, Oaxaca. Esta se ubica a una latitud de 17° N y tiene una altitud de 1550 msnm, la temperatura media anual es de 20.8°C y la precipitación media anual de 737 mm. Con frecuencia se tiene un período de sequía intraestival que puede durar de mediados de julio a principios de septiembre.

Las variedades de maíz empleadas pertenecen a la raza "Bolita". El centro de distribución de ésta se localiza en el Valle de Oaxaca, en rangos de altitud desde los 900-2500 msnm (Hernández, 1987). En el Cuadro 1 se presentan algunas características de las variedades evaluadas.

La semilla de los criollos precoz y tardío fue obtenida a través del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales y Agropecuarias (INIFAP) y la variedad intermedia mediante una colecta en la misma región.

Cuadro 1. Características de los criollos de maíz evaluados.

Criollo	Nombre común	Número de días a	
		Floración	Madurez
Precos	Delgado Moradito	54	100
Intermedio	Bolita	60	110
Tardío	Tardón	66	124

Fuente: PRONDAAT (1976).

La variedad de frijol de semi-guía empleada fue el criollo regional de color negro, denominado "Criollo delgado", el cual tiene 46 días a floración y 85 días a la madurez fisiológica.

Los otros dos factores en estudio fueron densidades de siembra del frijol y arreglos topológicos del maíz. En el Cuadro 2 se muestran los tratamientos evaluados.

Cuadro 2. Tratamientos experimentales en asociación.

Tratamiento	Variedad de maíz	Densidad de plantas de frijol	Arreglo topológico de maíz
		Plantas ha ⁻¹	Plantas mata ⁻¹
1	Precos	60,000	2
2	Precos	60,000	3
3	Precos	100,000	2
4	Precos	100,000	3
5	Precos	140,000	2
6	Precos	140,000	3
7	Intermedio	60,000	2
8	Intermedio	60,000	3
9	Intermedio	100,000	2
10	Intermedio	100,000	3
11	Intermedio	140,000	2
12	Intermedio	140,000	3
13	Tardío	60,000	2
14	Tardío	60,000	3
15	Tardío	100,000	2
16	Tardío	100,000	3
17	Tardío	140,000	2
18	Tardío	140,000	3

El arreglo de tratamientos correspondió a un factorial completo: combinación de tres variedades de maíz, tres densidades de frijol y dos arreglos topológicos. En estos tratamientos el frijol se sembró entre las matas de maíz. También se incluyeron tratamientos adicionales con los monocultivos (Cuadro 3), a fin de evaluar la eficiencia relativa de la tierra (ERT), la cual se define como:

$$ERT = [Y_i/Y_{ii}]$$

donde: Y_i = rendimiento del cultivo i en asociación y, Y_{ii} = rendimiento del cultivo i como monocultivo (Trenbath, 1976).

El diseño experimental empleado fue de parcelas subdivididas en bloques al azar con cuatro repeticiones. La parcela grande la constituyeron las variedades de maíz, la parcela mediana las densidades de frijol y la parcela chica los arreglos topológicos en maíz.

Los tratamientos adicionales fueron distribuidos en un diseño de bloques al azar con cuatro repeticiones.

Cuadro 3. Tratamientos adicionales en monocultivos.

Tratamiento	Cultivo	Forma de siembra	Plantas ha ⁻¹
1	Maíz precoz	2 Plantas a 0.83 m	40,000
2	Maíz intermedio	2 Plantas a 0.83 m	40,000
3	Maíz tardío	2 Plantas a 0.83 m	40,000
4	Frijol	4 Plantas/m	60,000
5	Frijol	6 Plantas/m	100,000
6	Frijol	8 Plantas/m	140,000
7	Maíz precoz	3 Plantas a 1.25 m	40,000
8	Maíz intermedio	3 Plantas a 1.25 m	40,000
9	Maíz tardío	3 Plantas a 1.25 m	40,000

El experimento se sembró el 25 de junio de 1989. Al momento de la siembra se aplicó 20 kilogramos de nitrógeno y 20 kilogramos de fósforo y al momento de la primera labor se aplicó al maíz 40 kilogramos de nitrógeno más. Durante el desarrollo del experimento se tomaron las siguientes observaciones: precipitación, días a floración y a madurez fisiológica, altura de plantas, rendimiento de grano y forraje, peso de 100 semillas y números de frutos por planta.

RESULTADOS Y DISCUSION

Durante el desarrollo del cultivo, la precipitación se distribuyó en forma adecuada, teniéndose un periodo corto de sequía que no afectó los rendimientos. En total se registraron 513 mm de la siembra a la madurez de maíz.

Los rendimientos promedio de frijol fueron de 526, 751 y 652 kg ha⁻¹ para las densidades de 60, 100 y 140 mil plantas ha⁻¹, respectivamente. Los rendimientos del frijol fueron afectados significativamente por las densidades de siembra (Cuadro 4). Una prueba de contrastes indicó que hubo diferencias significativas entre todos éstos, por lo que la densidad que produjo los mayores rendimientos fue la de 100 mil plantas ha⁻¹. El análisis gráfico de la respuesta a densidades de siembra indica que la densidad de siembra óptima es muy cercana a esta densidad.

Varios investigadores han reportado que las densidades óptimas de siembra para frijol de mata asociados con maíz es de 90 a 100 mil plantas ha⁻¹ (Carrizales, 1983; Lépiz, 1978; Moreno, 1972). En la región de los Valles Centrales de Oaxaca el productor utiliza

Cuadro 4. Análisis de varianza para el rendimiento de grano de frijol asociado con maíz.

Fuente	g.l.	C.M.	F.C.
Bloques	3	10512.8	0.32
Var. Maíz (V)	2	12965.5	0.40
Error a	6	32744.8	
Dens. Frijol (D)	2	304320.4	14.71**
V X D	4	10413.5	0.50
Error b	18	20689.5	
Arr. Top. Maíz (A)	1	2295.7	1.69
V X A	2	13862.5	1.05
D X A	2	19307.3	1.47
V X D X A	4	6539.7	0.5
Error c	27	13164.1	

C.V. = 17.8%

** Significativo al nivel de probabilidad de 0.01.

densidades de siembra de 50 a 60 mil plantas ha⁻¹, lo cual en conjugación con un deficiente control de plagas ocasiona bajos rendimientos (Ruiz, 1989).

En cuanto al efecto de sembrar el frijol entre matas de maíz espaciadas a 0.83 m y 1.25 m, se observó un incremento en rendimientos de frijol del 5.6% bajo el segundo espaciamiento, pudiendo atribuirse el efecto a una mayor disponibilidad de energía solar. Lépiz (1978) concluyó que la distancia entre matas de 1.45 m producía los mayores rendimientos de frijol.

Sin embargo, el rendimiento del maíz también se ve afectado al incrementar la distancia entre matas, ya que se requiere poner más plantas por mata para mantener la densidad de siembra constante.

El rendimiento de forraje seco de frijol fue afectado por la densidad de siembra y por la variedad de maíz. En comparación con la variedad precoz, la variedad intermedia produjo un 23% más de forraje. Una posible explicación a este comportamiento es que la variedad precoz fue más alta que la intermedia, además de que pudo haber coincidencia entre las etapas de mayor demanda por recursos climáticos dada la precocidad del maíz. Cabe mencionar que el rendimiento de grano y el número de vainas por planta fueron también menores al asociar el frijol con la variedad precoz, pero no hubo diferencias significativas.

Los rendimientos del maíz asociado con frijol solo fueron afectados en forma significativa por el arreglo topológico (Cuadro 5). Aun cuando los rendimientos tendieron a decrecer al hacerse más tardía la variedad y al incrementarse la densidad de frijol, no hubo efectos significativos de estos factores.

Cuadro 5. Análisis de varianza para el rendimiento de grano de maíz asociado con frijol.

Fuente	g.l.	C.M.	F.C.
Bloques	3	1392451	1.07
Var. Maíz (V)	2	196796	0.15
Error a	6	1305487	
Dens. Frijol (D)	2	36103	0.06
V X D	4	650887	1.05
Error b	18	579568	
Arr. Top. Maíz (A)	1	4056501	9.61**
V X A	2	768721	1.82
D X A	2	532684	1.26
V X D X A	4	81114	0.19
Error c	27	422148	

C.V. = 17.6%

** Significativo al nivel de probabilidad de 0.01.

Con el arreglo topológico de dos plantas mata^{-1} se produjeron 3933 kg ha^{-1} de grano, mientras que con tres plantas de maíz mata^{-1} se obtuvieron 3459 kg ha^{-1} , lo cual representa 474 kg ha^{-1} a favor del primer arreglo. Ruiz (1990b) reportó resultados similares al evaluar criollos de maíz bajo dos arreglos topológicos en la región, atribuyendo el efecto a una menor competencia por luz.

Los rendimientos de forraje del maíz asociado con frijol fueron afectados por el arreglo topológico. El arreglo topológico de dos plantas mata^{-1} produjo 429 kg ha^{-1} más forraje que el de tres plantas mata^{-1} . El efecto de la interacción variedad por arreglo topológico indica que al menos una variedad se comportó diferente al cambiar el arreglo topológico.

En el Cuadro 6 se muestran los rendimientos promedio de forraje para las distintas combinaciones de variedad por arreglo topológico. La variedad intermedia, la cual se siembra con más frecuencia en la región, produjo menores rendimientos con el arreglo de dos plantas mata^{-1} . Esto puede indicar adaptación a condiciones de

competencia generadas por la práctica tradicional del productor de sembrar tres-cuatro plantas/mata.

Cuadro 6. Rendimientos promedio de forraje seco de maíz en asociación con frijol según la variedad y el arreglo topológico.

Variedad	Arreglo topológico del maíz	Rendimiento kg ha^{-1}
Precos	2 Plantas/mata	3978
Precos	3 Plantas/mata	3486
Intermedia	2 Plantas/mata	3373
Intermedia	3 Plantas/mata	3565
Tardía	2 Plantas/mata	4016
Tardía	3 Plantas/mata	3022

En el mismo Cuadro 6 se puede ver que el efecto de sembrar dos plantas mata^{-1} en relación con tres plantas mata^{-1} , es mayor en la variedad tardía, ya que se tiene casi una tonelada de diferencia en favor del primer arreglo. Esta variedad fue la más alta, alcanzando 2.10 m a la madurez y superando estadísticamente en altura a las otras dos, las cuales no fueron diferentes entre sí.

La eficiencia relativa de la tierra (ERT), se empleó como criterio para comparar la productividad de la asociación de cultivos en relación con los monocultivos correspondientes. Sin embargo, la ERT no considera el valor de los productos, por lo que también se estimó la relación beneficios brutos/costos totales (BB/CT). En el Cuadro 7 se presentan los promedios de la relación BB/CT para los rendimientos evaluados.

Aun cuando los tratamientos en asociación mostraron las más elevadas ERT, las mayores relaciones BB/CT, se obtuvieron con el frijol en monocultivo. Este aspecto del estudio de las asociaciones de cultivo se ha descuidado, ya que generalmente se habla de su mayor eficiencia en el uso de la tierra, mas no de su redituabilidad.

CONCLUSIONES

1. La eficiencia de la asociación maíz-frijol como productora de grano fue más alta que la de sus respectivos monocultivos, pero en

Cuadro 7. Eficiencia relativa de la tierra (ERT), y relación beneficios brutos/costos total (BB/CT), para los tratamientos evaluados.

Tratamiento	ERT	BB / CT
Precos	1.30 abc	4.07 cdef
Precos	1.31 abc	3.85 cdef
Precos	1.15 abcde	3.90 cdef
Precos	1.21 abcd	4.13 cdef
Precos	1.21 abcd	4.06 cdef
Precos	1.34 a	4.23 cde
Intermedio	1.30 abc	3.90 cdef
Intermedio	1.08 bcde	3.45 def
Intermedio	1.34 a	4.32 cde
Intermedio	1.26 abc	4.50 bcd
Intermedio	1.32 ab	4.08 cdef
Intermedio	1.30 abc	4.37 cd
Tardío	1.27 abc	4.17 cde
Tardío	1.06 cde	3.74 cdef
Tardío	1.19 abcd	4.28 cde
Tardío	0.90 e	3.56 cdef
Tardío	1.25 abcd	4.39 bcd
Tardío	1.11 abcde	4.16 cde
Precos	1.00 de	5.06 bc
Intermedio	1.00 de	7.22 a
Tardío	1.00 de	5.94 ab
Frijol delgado	1.00 de	2.81 ef
Frijol delgado	1.00 de	2.59 f
Frijol delgado	1.00 de	2.58 f
Maíz precos	1.00 de	2.77 ef
Maíz intermedio	1.00 de	2.96 def
Maíz tardío	1.00 de	3.15 def

* Prueba de Tukey al 0.5

términos de beneficios económicos el frijol en monocultivo fue superior.

- Es necesario incluir el criterio de relación beneficio/costo en la evaluación de cultivos en asociación, en especial cuando el precio de venta de uno de los componentes difiere significativamente del resto, o cuando el precio está sujeto a variaciones frecuentes.

LITERATURA CITADA

- ALVIM, R. y P. ALVIM. 1969. Efeito de densidade de plantio no aproveitamento da energia luminosa pelo milho (*Zea mays*), e pelo feijao (*Phaseolus vulgaris*), em cultivares exclusivas e consorciadas. Turrialba 19: 389-393.
- ANDRADE, M.A., E. ROMALHO D. y J.B. ANDRADE M. 1974. Consorciacao de feijao com cultivares de milho de porte diferente. Agros 4: 23-30.
- CANTU A., M.A. 1985. Microclima y componentes del rendimiento de frijol en siembras intercaladas con maíz. Tesis de Maestría, Universidad de Nuevo León, Marín, Nuevo León.
- CARRIZALES M., N. 1983. Maíz-frijol intercalados como una alternativa para el incremento de la producción de frijol en el centro de Chiapas. Tesis Profesional, Universidad Autónoma de Chiapas, Chiapas.
- ESQUIVEL A., C. 1978. Respuesta de la asociación maíz-frijol a ocho factores de la producción en las zonas I y II del Plan Puebla. Colegio de Postgraduados, Chapingo, México.
- FRANCIS, C.A., A. FLOR C. y M. PRAGER. 1976. Contrastes agroecológicos entre el monocultivo de maíz y la asociación maíz-frijol. CIAT, Cali, Colombia.
- HERNANDEZ X., E. 1987. Xolocotzia. Revista de Geografía Agrícola 2: 718-729.
- LEPIZ I., R. 1974. Asociación de cultivos maíz-frijol. Folleto técnico No. 58, INIA-SAG, México, D.F.
- LEPIZ I., R. 1978. La asociación maíz-frijol y el aprovechamiento de la luz solar. Tesis de Doctorado, Colegio de Postgraduados, Chapingo, México.
- LOPEZ M., N. 1983. Eficiencia del cultivo compuesto maíz-frijol intercalado de temporal en los Valles Centrales de Oaxaca. Tesis Profesional, Universidad Autónoma de Nayarit, Ciudad Nayarit.
- MORENO R., O.H. 1972. Las asociaciones de maíz y frijol, un uso alternativo de la tierra. Tesis M.C. Chapingo, Méx. ENA p. 80.
- MORENO R., O., A. TURRENT F. y R. NUÑEZ E. 1973. Las asociaciones de maíz y frijol: una alternativa en el uso de los recursos de los agricultores del Plan Puebla. Agrociencia 14: 103-107.
- PINCHINAT A., M., J. SORIA y R. BAZAN. 1976. Intercropping systems in Tropical America. pp. 63-102. In: M. Stelly (ed.) Multiple Cropping. ASA Special Publication No. 27. American Society of Agronomy. Madison, Wisconsin, USA.
- PRONDAAT. 1976. Planes de desarrollo agrícola en Oaxaca. I. reunión anual. Colegio de Postgraduados, Chapingo, México.
- RUIZ V., J. 1987. Estabilidad y redituabilidad de patrones de cultivo en los Valles Centrales de Oaxaca. Resúmenes del XX Congreso Nacional de suelos. Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo. Zacatecas, Zacatecas.
- RUIZ V., J. 1989. Validación del control de plagas incremento de la densidad de siembra en la asociación maíz-frijol. Informe anual de investigación del Campo Experimental Valles Centrales de Oaxaca, INIFAP-SARH, Sto. Domingo, Etlá, Oaxaca.
- RUIZ V., J. 1990a. Evaluación de tres criollos de maíz a dos densidades y en tres fechas de siembra bajo condiciones de temporal. Resúmenes del XII Congreso Nacional de la Sociedad Mexicana de Fitomejoramiento. Cd. Juárez, Chihuahua.
- RUIZ V., J. 1990b. Rendimiento de dos criollos de maíz bajo dos arreglos topológicos y dos densidades de siembra. Resúmenes del XII Congreso Nacional de la SOMEFI. Cd. Juárez, Chihuahua.
- TRENBATH, B.R. 1976. Plant interactions in mixed crop communities. pp. 129-170. In: Stelly, M. (ed.) Multiple Cropping ASA, Special publication No. 27. American Society of Agronomy. Madison, Wisconsin.

EFFECTO DE LA MALEZA EN EL CRECIMIENTO DEL MAIZ

Weed Effects on Corn Growth

Mario D. Amador Ramírez

CIFAP-Zac., Apartado Postal 18, 98500 Calera V.R., Zacatecas

Palabras clave: *Zea mays L.*, Area foliar, Materia seca, Contenido relativo de agua, Eficiencia en el uso del agua.

Index words: *Zea mayz L.*, Leaf area, Dry matter, Relative leaf water content, Water use efficiency.

RESUMEN

El efecto de la competencia de la maleza en el área foliar, materia seca, contenido relativo de agua y eficiencia en el uso del agua fue estudiado en el híbrido de maíz H-204, en 1987, y en la variedad sintética VS-202, en 1988. También se estimó el contenido de humedad del suelo. La presencia de maleza afectó la acumulación del área foliar del híbrido H-204 en 32%, mientras que en la variedad VS-202 fue de 60%. Sin embargo, la materia seca de la parte aérea del H-204 expuesto a la competencia de maleza, al final del ciclo, registró una reducción de 53%, mientras que la VS-202 tuvo una reducción de sólo un 37%. A los 54 y 69 días después de la siembra, el contenido relativo de agua (CRA) del H-204, con hierba todo el ciclo, fue menor al resto de los tratamientos. El CRA de la VS-202 sometido a competencia de maleza en diferentes etapas no mostró variación, excepto a los 73 días de la siembra en el maíz con

hierba todo el ciclo. La eficiencia en el uso del agua fue reducida hasta 52% en H-204 y 39% en VS-202, cuando los genotipos fueron expuestos a la competencia de maleza durante todo el ciclo.

SUMMARY

A study for assessing the effect of weeds on leaf area, dry matter, relative leaf water content and water use efficiency of corn H-204 in 1987 and VS-202 in 1988 was carried out for two years. Soil moisture content was also measured. Leaf area accumulated by H-204 was affected 32% by weeds presence during the whole season; whereas leaf area of VS-202 was reduced 60%. Weeds competition during the whole season reduced the dry matter of H-204 in 53%, and 37% of VS-202. Relative leaf water content (RLWC) of weeded H-204 was lower all the season than in the others treatments, 54 and 69 days after seeding. RLWC of VS-202 weeded the entire season, showed a slight variation 73 days after seeding with respect to the other treatments. Water use efficiency was reduced 52 and 39% in H-204 and VS-202, respectively, as they were exposed to weed competition during all season.

INTRODUCCION

En México, en las décadas de los años 50 a los 70, la mayoría de los estudios de maleza

Recibido 09-92.

en maíz se dedicaron a la estimación del efecto de la competencia sobre el rendimiento del cultivo (Aguilar, 1973 y 1975; Nieto, 1959-60; Nieto y Agundis, 1962-63). Sin embargo, la complejidad de la relación cultivo-maleza requiere de la aplicación de otros enfoques que ayuden a su mejor comprensión.

El crecimiento y rendimiento de la planta de maíz son función del potencial genético de la planta, el cual reacciona a las condiciones ambientales bajo las cuales se desarrolla (Ritchie y Hanway, 1984). La maleza son elementos bióticos del ambiente de un cultivo, y su presencia afecta negativamente el crecimiento y desarrollo del maíz al establecerse la competencia por nutrimentos, espacio, luz y agua, entre las plantas cultivadas y la población natural de maleza.

La acumulación de materia seca y área foliar son componentes del crecimiento del maíz que son afectados por la presencia de maleza. Las reducciones en materia seca de maíz pueden alcanzar hasta 23% a las siete semanas de emergencia (Young *et al.*, 1984). En tanto que el período crítico para la acumulación de materia seca se encuentra entre la quinta y sexta semana después de la siembra (Aveni *et al.*, 1984).

El período crítico para la acumulación de área foliar se estima que ocurre a los 35 días después de la emergencia (Young *et al.*, 1984). Las reducciones del área foliar pueden ser hasta de 19% a los 49 días después de la emergencia, aunque se han determinado reducciones de hasta 61 y 53%, en estudios en los que se compararon tratamientos de maíz enmalezado con maíz deshierbado en forma manual y con herbicidas, respectivamente (Guleria y Singh, 1980).

La humedad del suelo es un factor ambiental que afecta el crecimiento y rendimiento del maíz si se encuentra en una condición limitante, así Denmead y Shaw (1960) observaron reducciones en el área foliar y en la materia seca de maíz sometido a estrés hídrico en las etapas vegetativa, floración femenina y en ambas etapas. Abundante información sobre contenido relativo de agua y eficiencia en el uso del agua en maíz está disponible, sin embargo, sucede todo lo contrario cuando estos factores son evaluados en función de la interferencia de maleza.

Con relación a la humedad disponible, la eficiencia en la producción de materia seca por unidad de agua evapotranspirada, denominada eficiencia en el uso del agua, se ha observado que tiende a incrementarse a través del tiempo, independientemente de la presencia o ausencia de maleza, e inclusive un cultivo enhierbado puede llegar a ser más eficiente al final del ciclo que el limpio de maleza todo el ciclo (Geddes *et al.*, 1979).

Dadas estas interacciones se diseñó el presente estudio para evaluar el efecto de la maleza sobre la acumulación de área foliar y materia seca, y el contenido relativo de agua y la eficiencia en el uso del agua de cultivares de maíz desarrollados en temporal.

MATERIALES Y METODOS

El estudio se efectuó durante 1987 y 1988 en los terrenos del Campo Experimental Zacatecas, el cual está localizado a 22°53'30" latitud norte y a 102°39'33" longitud oeste, a 2197 metros sobre el nivel del mar. Las temperaturas máximas promedio son de 21.36°C y las mínimas promedio de 5.4°C con una temperatura media de 12.63°C. La precipitación anual es de 382.80 mm. El clima se define como BSwbk según la clasificación de Köppen, es decir, semidesértico de estepa. El suelo tiene textura migajón-arcillo-arenosa, pH de 7.0 y contenido de materia orgánica de 1.28 a 1.40%.

El estudio se condujo durante dos años. En 1987 se utilizó el híbrido de maíz H-204 y en 1988 se empleó la variedad sintética VS-202. Ambos tipos de maíz son recomendados para siembras de temporal en el Altiplano Zacatecano (Ramírez, 1982). Se usaron genotipos diferentes en cada año debido a la falta de semilla del híbrido H-204 sembrado en 1987. La variedad VS-202 se eligió debido a que es similar al híbrido en días a floración y madurez fisiológica. En el genotipo H-204 la aparición de los estigmas sucede a los 63 días y el polen a los 62, y en la VS-202 sucede a los 65 y 63, días respectivamente. Ambos genotipos tienen su madurez fisiológica a los 100 días.

El maíz se sembró en condiciones de temporal en surcos espaciados a 0.76 m, y la dosis de fertilización aplicada fue la 60-40-00.

La distancia entre plantas fue de 30 cm, para alcanzar una densidad de 43,000 plantas/ha, aproximadamente. La unidad experimental estuvo constituida por ocho surcos de 10 m de longitud.

Los tratamientos de competencia tardía de maleza se establecieron manteniendo libre de maleza al cultivo desde la siembra hasta 25 y 45 días, para posteriormente permanecer con maleza. La competencia temprana de maleza fue establecida manteniendo al cultivo 25 y 45 días, a partir de la siembra, con maleza, después de lo cual permanecieron libres de ésta. Se establecieron dos testigos absolutos: uno libre de maleza todo el ciclo y otro con maleza durante todo el ciclo.

Los periodos de 25 y 45 días corresponden a las épocas en que rutinariamente se realizan las escardas al cultivo. Los deshierbes efectuados entre lapsos se hicieron manualmente.

Los tratamientos se establecieron en un diseño experimental de bloques al azar con cuatro repeticiones. Las variables estimadas en la planta de maíz fueron área foliar, materia seca, contenido relativo de agua y eficiencia en el uso del agua. La variable estimada en el suelo fue el contenido de humedad.

La estimación del área foliar se realizó en una muestra de cuatro plantas por parcela, usando un integrador de área foliar Li-COR (Modelo LI-3100). La estimación de materia seca consideró el secado al sol de la planta entera y la mazorca, en una muestra de 10 plantas en la primera fecha y cuatro plantas en las siguientes fechas de evaluación. Se llevaron a cabo cinco muestreos durante el ciclo del maíz. La discusión de los resultados de materia seca y área foliar se concentró alrededor del establecimiento de dos fases, denominadas primero y segundo periodos de crecimiento, ambas relacionadas con la lluvia ocurrida en las semanas 1 a 8 y en las semanas 9 a 15, respectivamente.

El contenido relativo de agua (CRA) se midió en las siguientes etapas del ciclo del maíz: cinco hojas (25 y 31 días), hoja bandera (53 y 54 días), grano lechoso (69 y 73 días), grano masoso duro (84 y 91 días), y madurez fisiológica (98 y 105 días). El CRA se midió en hojas del segundo tercio de la planta completamente desarrolladas. En el campo

se extrajo una muestra de cinco hojas por parcela, de las que en el laboratorio se obtuvieron 15 discos de 0.7 cm de diámetro. En éstos se determinó su peso fresco, para en seguida ser puestos a flotación en agua destilada por cuatro horas. La luz utilizada fue la de lámparas con luz blanca de laboratorio y la temperatura fluctuó entre los 15 a 18°C. Antes de la determinación del peso de los discos en turgidez completa, se removió el exceso de humedad en la superficie de los discos con papel secante. El peso seco se obtuvo colocando los discos turgidos en una estufa a 55°C durante 2 horas. La fórmula para calcular el contenido relativo de agua (Barrs, 1968) fue:

$$CRA = \frac{\text{Peso fresco} - \text{Peso seco}}{\text{Peso túrgido} - \text{Peso seco}} \times 100$$

La eficiencia en el uso del agua se estimó mediante la división de la materia seca entre los metros cúbicos de agua evapotranspirada, la cual fue calculada mediante la ecuación del balance hídrico (Bravo y Reyes, 1989):

$$ET = S + P - E - \text{Percolación}$$

donde:

S = cambio en el contenido de agua en el suelo

P = precipitación

E = escorrentía

Percolación = percolación del agua de lluvia.

La estimación de la evapotranspiración se efectuó en las mismas fechas de los muestreos de materia seca del maíz.

El contenido de humedad del suelo se estimó mediante el método gravimétrico (Gardner, 1965) y las mediciones fueron hechas a 30 cm de profundidad en intervalos semanales en 1987 y en las mismas etapas en que se realizó el CRA en 1988.

RESULTADOS Y DISCUSION

La maleza dominante en el estudio fue el quelite (*Amaranthus palmeri* L.) con una incidencia promedio de dos años de 68%, con respecto a otras especies como el zacate sabaneta (*Eragrostis diffusa*), la aceitilla (*Bidens odorata*) y la mostacilla (*Brassica campestris*), las cuales incidieron en las

proporciones de 13, 6 y 4%, respectivamente. El restante 9% estuvo constituido por especies en cantidades no significativas. La población total de maleza varió entre años, ya que en 1988 ésta fue 115% mayor que en 1987 (Cuadro 1), estas diferencias pueden atribuirse a los diferentes sitios experimentales.

La precipitación de los años de estudio se presenta en el Cuadro 2. En ambos años se tuvo relativamente la misma cantidad de lluvia acumulada durante la primera mitad del ciclo

Cuadro 1. Población de maleza incidente en los tratamientos bajo estudio de a madures fisiológica.

Tratamiento	Población	
	1987	1988
	--- plantas/m ² ---	
Limpio ^a	0	0
25 L - E ^b	61	111
45 L - E	34	71
25 E - L ^c	0	0
45 E - L	0	0
Enmalezado ^d	104	224

^aSin maleza todo el ciclo

^bDías limpio después enmalezado

^cDías enmalezado después limpio

^dCon maleza todo el ciclo

Cuadro 2. Precipitación pluvial acontecida durante el estudio de interferencia de maleza en maíz.

Semana	1987	1988
1	6.5	7.6
2	15.7	18.1
3	3.7	28.4
4	46.3	5.5
5	8.8	14.3
6	48.3	44.9
7	2.0	5.5
8	13.2	27.5
Subtotal (semana 1 - 8)	(144.5)	(151.8)
9	49.0	0
10	0	9.9
11	0	5.2
12	98.8	5.2
13	37.4	8.7
14	0	0
15	0	0
Subtotal (semana 9 - 15)	(185.2)	(29.0)
Total	329.7	180.8

^aLas semanas coinciden con la iniciación del estudio (Semana 1) hasta madures fisiológica (Semana 15).

del cultivo. Sin embargo, en la segunda mitad del ciclo la precipitación pluvial en 1987 fue irregular, y en 1988 fue escasa, lo que provocó períodos con limitada humedad en el suelo.

Area Foliar y Materia Seca.

El área foliar del híbrido H-204 en 1987, expuesto a la competencia de maleza todo el ciclo, se redujo significativamente en la octava semana, en comparación con el maíz sin maleza durante todo el ciclo, aunque se observó una ligera recuperación en la semana 13 debido a los 98.8 mm de lluvia acumulados entre la 8a y 12a semana. En este año el abatimiento final del área foliar fue de 32% (Cuadro 3). El área foliar de la variedad VS-202, evaluada en 1988, se redujo significativamente a partir de la semana 13, debido a que en esa semana la lluvia acumulada después de la octava semana fue sólo de 29 mm. En este caso se observó una reducción final de 60%, con respecto al maíz libre de malezas todo el ciclo. La disminución en la variedad VS-202 puede ser atribuible al efecto conjunto de la presencia de maleza y la errática precipitación. Los resultados de ambos genotipos coinciden con los de Guleria y Singh (1980), quienes observaron una reducción del índice de área foliar del maíz al estar sometido a competencia con maleza, en comparación al maíz deshierbado química o manualmente.

En 1987 desde la semana cinco, el híbrido H-204 presentó una disminución en la acumulación de materia seca aérea, aunque fue significativa sólo desde la semana 10 y hasta la culminación del experimento. El abatimiento final fue de 53% en comparación con el maíz sin maleza todo el ciclo (Cuadro 4).

La reducción de la materia seca aérea de la variedad VS-202 se inició en la semana 11, pero la reducción fue de significancia a partir de la semana 13 y hasta el término del estudio, con un abatimiento final de 37% en el maíz con maleza respecto al tratamiento libre de maleza. Estos resultados difieren de los obtenidos por Ayeni *et al.* (1984) y Young *et al.* (1984), quienes estimaron el inicio de la reducción de la materia seca del maíz entre las semanas 5 a 8, mientras que en este estudio el efecto de competencia de la maleza se presentó en etapas más avanzadas de desarrollo. Una posible explicación sería la

atribuible a las diferencias en los ambientes en donde se realizaron las investigaciones, tales como la menor densidad de maleza y la lluvia observada en este estudio, 1.1 veces menor a la reportada por los anteriores investigadores. Las reducciones totales de materia seca, obtenidas en el presente estudio fueron menores al 71% de reducción encontrado por Guleria y Singh (1980) cuando expusieron el maíz a la infestación de maleza, debido a la también menor densidad poblacional de maleza.

La disminución del área foliar y la materia seca en el maíz con maleza, en comparación al

maíz sin maleza todo el ciclo durante el primer periodo de crecimiento vegetativo, puede atribuirse exclusivamente a la competencia de maleza. Sin embargo, las diferencias significativas presentes en el segundo periodo de crecimiento ocurridas entre las semanas 9 a 15, entre estos tratamientos pudieron deberse al efecto combinado de la presencia de maleza y a la mal distribuida precipitación en 1987, así como a la errática lluvia en 1988 que ocasionó periodos con limitada humedad del suelo en ambos años.

Las reducciones totales de área foliar y materia seca indican que el efecto de

Cuadro 3. Acumulación de área foliar en maíz H-204 (1987) y VS-202 (1988) desarrollado con y sin competencia de maleza ¹.

Tiempo desde la siembra del cultivo	H-204			VS-202		
	Maíz sin maleza ²	Maíz con maleza	Reducción	Maíz sin maleza	Maíz con maleza	Reducción
Semana	--- cm ² /planta ---		%	--- cm ² /planta		%
5	562	502	11	347	360	0
8	2866	2331**	19	2545	2868	0
11	--	--	--	2421	2307	5
13	2488	2203	11	2491	1859**	25
15	1951	1319**	32	1979	784**	60

¹El nivel de significancia expresado mediante ** ($P < 0.01$) fue obtenido con la prueba de t Student en cada fecha de muestreo.

²La ausencia o presencia de maleza en el maíz es en referencia a todo el ciclo del cultivo.

Cuadro 4. Acumulación de materia seca en maíz H-204 (1987) y VS-202 (1988) desarrollado con y sin competencia de maleza ¹.

Tiempo desde la siembra del cultivo	H-204			VS-202		
	Maíz sin maleza ²	Maíz con maleza	Reducción	Maíz sin maleza	Maíz con maleza	Reducción
Semana	--- g/planta ---		%	--- g/planta ---		%
5	52	41	21	21	21	0
8	104	84	19	112	110	1
10	184	127**	31	--	--	-
11	--	--	--	252	208	17
13	213	136*	36	389	255**	34
15	390	181**	53	463	289**	37

¹El nivel de significancia expresado mediante un * ($P < 0.05$) ó ** ($P < 0.01$) fue obtenido con la prueba de t Student en cada fecha de muestreo.

²La ausencia o presencia de maleza en el maíz es en referencia a todo el ciclo del cultivo.

Cuadro 5. Contenido relativo de agua del maíz H-204 (1987) y VS-202 (1988) expuesto a diferentes niveles y épocas de competencia de maleza.

Tratamiento	Días después de la siembra ^e									
	H-204					VS-202				
	25	54	69	91	105	31	53	73	84	98
	(%)									
Limpio ^a	86a	82a	80ab	84a	80a	80a	93a	91a	91a	71a
25 L-E ^b	88a	79a	82a	85a	79a	85a	92a	90a	91a	71a
45 L-E	91a	79a	82a	85a	77a	82a	92a	90a	91a	70a
25 E-L ^c	86a	80a	81a	86a	77a	75a	93a	91a	93a	72a
45 E-L	92a	78a	82a	84a	80a	77a	92a	91a	89a	81a
Enmalezado ^d	91a	73 b	77 b	85a	80a	76a	92a	83b	90a	70a

^aSin maleza todo el ciclo

^bDías de limpieza, después enmalezado

^cDías enmalezado, después limpio

^dCon maleza todo el ciclo

^eMedias con la misma letra en una misma columna son estadísticamente iguales ($P < 0.05$) mediante la prueba de Rango Múltiple de Duncan.

competencia causado por la maleza es dependiente del genotipo de maíz, ya que en el híbrido H-204 la materia seca fue más afectada que el área foliar; mientras que en la variedad VS-202 el área foliar fue la más afectada.

Estado Hídrico de Planta y Suelo.

Para caracterizar el efecto de la presencia de maleza en el estado hídrico del maíz, en los dos años de estudio se determinó el contenido relativo de agua del cultivo (Cuadro 5). En ambos genotipos se detectó una ligera variación del contenido relativo de agua (CRA) entre tratamientos. En el H-204 el tratamiento con maleza todo el ciclo mostró un CRA menor que el resto de los tratamientos a los 54 y 69 días, y en VS-202 este tratamiento mostró el CRA menor a los 73 días. Esta respuesta podría deberse a la presencia de maleza, que provocó un abatimiento mayor de la humedad del suelo a los 53 y 60 días después de la siembra en 1987 (Cuadro 6) y a los 73 días (Cuadro 7) en 1988, con respecto a los otros tratamientos.

De acuerdo con los datos obtenidos en los demás muestreos de CRA, las plantas de maíz de ambos genotipos, en todos los

Cuadro 6. Contenido de humedad del suelo sembrado con maíz H-204 y expuesto a diferentes niveles y épocas de competencia con maleza en 1987.

Tratamiento	Días después de la siembra					
	13	33	46	53	60	95
	(%)					
Limpio ^a	16.7	19.2	18.0	15.4	16.4	19.9
25 L-E ^b	16.1	19.1	18.6	16.0	12.3	20.7
45 L-E	16.2	21.0	18.0	15.7	13.3	20.6
25 E-L ^c	16.2	20.3	18.4	16.3	14.0	22.2
45 E-L	16.7	21.0	18.0	13.6	12.8	20.1
Enmalezado ^d	16.8	19.4	15.7	13.1	11.4	22.6

Capacidad de campo = 26.4%

Punto marchitez permanente = 14.1

^aSin maleza todo el ciclo

^bDías limpio, después enmalezado

^cDías enmalezado, después limpio

^dCon maleza todo el ciclo

tratamientos, satisficieron su requerimiento hídrico a pesar de que en algunos casos la humedad del suelo estuvo en y por abajo del punto de marchitez permanente. Por lo anterior, se descarta la competencia por agua entre el maíz y la maleza, a excepción del

tratamiento con maleza todo el ciclo que mostró un CRA estadísticamente menor en etapas cruciales como la floración y grano lechoso, lo cual posiblemente redujo la materia seca y el área foliar. Reducciones de 15% en el área foliar y 48% en la materia seca fueron obtenidas por Denmead y Shaw (1960) cuando sometieron al maíz a estrés hídrico en las etapas de floración y mazorca, siendo estos valores menores a los reportados en este estudio por el H-204; incluso la VS-202 sometida a estrés hídrico en la fase de grano lechoso presentó reducciones superiores al 2% en área foliar y 15% en materia seca, conseguidas por estos investigadores cuando sometieron al maíz a estrés hídrico en la fase de mazorca. Una posible explicación a la diferencia en reducciones podría ser la presencia de maleza en este estudio, las cuales compitieron por nutrientes y espacio (Anderson, 1983).

Cuadro 7. Contenido de humedad del suelo sembrado con maíz VS-202 y expuesto a diferentes niveles de competencia con maleza en 1988.

Tratamiento	Días después de la siembra					
	9	31	53	73	84	98
	(%)					
Limpio ^a	18.7	18.6	23.5	16.6	14.9	11.4
25 L-E ^b	18.5	18.5	22.7	15.9	14.0	11.2
45 L-E	17.2	19.1	21.7	16.1	14.7	10.9
25 E-L ^c	18.1	18.0	24.2	17.0	14.2	11.7
45 E-L	18.2	19.8	23.1	17.4	16.1	12.6
Enmalezado ^d	17.7	18.7	21.4	13.2	13.0	10.6

Capacidad de campo = 26.4%

Punto marchitez permanente = 14.1%

^aSin maleza todo el ciclo.

^bDías de limpieza, después enmalezado.

^cDías enmalezado, después limpio.

^dCon maleza todo el ciclo.

Eficiencia en el Uso del Agua.

La eficiencia en el uso del agua (EUA), que expresa la materia seca producida por metro cúbico de agua evapotranspirada, se incrementó en ambos genotipos a través del ciclo del cultivo (Cuadro 8). En H-204 en la 8a semana se empezó a notar la diferencia entre tratamientos, la cual fue más evidente en la semana 15; una respuesta similar se observó en

VS-202 a partir de la 13a semana. Las plantas de maíz fueron más eficientes cuando estuvieron libres de maleza con respecto al resto de los tratamientos. La presencia de maleza todo el ciclo afectó negativamente la eficiencia de las plantas de maíz hasta en 52% en H-204 y 39% en VS-202, con respecto a las plantas libres de maleza.

En H-204 la EUA de los tratamientos basados en la ausencia y luego presencia de maleza por 25 y 45 días, al final del ciclo resultaron estadísticamente similares a los tratamientos en los que el enfoque fue a la inversa, por lo que se asume que la población de 61 y 34 plantas de maleza/m² respectivamente, no afectó la eficiencia de estos tratamientos. En VS-202 estos tratamientos fueron similares al testigo limpio hasta la 13a semana, sin embargo, para la 15a semana el tratamiento 25 L-E produjo mayor materia seca por unidad de agua evapotranspirada que el tratamiento 45 L-E, por lo que se sugiere que la competencia de maleza ejercida por las 111 plantas/m² provocó una mayor eficiencia en el uso del agua. Esta respuesta al tratamiento 25 L-E también la observaron Geddes *et al.* (1979) en soya con maleza todo el ciclo. En este estudio el maíz con maleza fue el menos eficiente al compararlo con el resto de los tratamientos.

La mayor eficiencia en el uso del agua observada en los genotipos con el tratamiento sin maleza coincide con lo observado por Alessi y Power (1976), quienes determinaron mayor EUA a una población de 40,000 plantas de maíz por hectárea, cercana a la población utilizada en este estudio; sin embargo, cuando se incrementó la densidad, es decir, las plantas estuvieron en competencia intraespecífica, la EUA del maíz disminuyó. Si el efecto de una mayor competencia intraespecífica es la reducción de la EUA, entonces es posible explicar que los menores valores de EUA observados en el resto de los tratamientos fueron causados por la competencia interespecífica ejercida por la maleza.

Cuadro 8. Eficiencias en el uso de agua para para maíz H-204 en 1987 y VS-202 en 1988^e.

Semanas después de la siembra	Limpio ^a	25 L-E ^b	45 L-E	25 E-L ^c	45 E-L	Enmalezado
----- (kg de materia seca/m ³ agua ET) -----						
H-204						
5	2.0a	2.0a	2.2a	1.9a	2.2a	1.6a
8	9.3a	8.8a	9.1a	9.2a	7.7ab	7.1b
10	13.3a	11.5ab	12.5ab	12.0ab	10.7bc	9.0c
13	10.1ab	11.3ab	11.9ab	12.5a	9.5b	6.4c
15	19.0a	14.1 b	14.7 b	15.1 b	14.7b	9.2c
VS-202						
5	1.0a	1.0a	1.0a	1.1a	1.1a	1.0a
8	3.1a	2.9a	3.0a	2.9a	2.9a	2.9a
11	6.4a	6.4a	6.5a	6.5a	6.0a	5.0a
13	7.9a	7.0a	7.6a	7.6a	6.5a	4.8b
15	8.7a	8.0ab	6.8bc	6.5bc	5.7c	5.3c

^aSin malezas todo el ciclo.

^bDías limpio después enmalezado.

^cDías enmalezado después limpio.

^dCon malezas todo el ciclo.

^eMedias seguidas por la misma letra dentro de una hilera son estadísticamente iguales ($P < 0.05$) mediante la prueba de Rango Múltiple de Duncan.

CONCLUSIONES

El crecimiento medido a través del área foliar y la materia seca, fue reducido en las plantas de maíz expuestas a la competencia causada por la infestación libre de maleza. En el híbrido H-204 el área foliar y la materia seca fueron reducidas 32 y 53%, respectivamente. El área foliar de la variedad VS-202 fue reducida 60% y su materia seca tuvo una reducción de 37%, este comportamiento indica una respuesta genotípica diferencial.

Con las condiciones de humedad prevalecientes en el estudio, las cuales en ocasiones rebasaron el punto de marchitez permanente, se satisfizo el requerimiento hídrico del maíz, descartando una posible competencia por humedad del suelo.

Se desconoce si los abatimientos de la humedad del suelo y las reducciones estadísticamente significativas de 73 y 77% en H-204 y 83% en VS-202 del contenido relativo de agua, mostradas por el tratamiento con

maleza todo el ciclo están relacionadas con sus reducciones del área foliar y materia seca.

El cultivo de maíz mostró una alta eficiencia en la producción de materia seca por cada metro cúbico de agua evapotranspirada cuando se le mantuvo limpio de maleza todo el ciclo. La tendencia del resto de los tratamientos fue disminuir el EUA como una respuesta a la presencia y luego ausencia de maleza por 25 y 45 días y viceversa. Las plantas de maíz con maleza durante todo el ciclo fueron las menos eficientes, 52 y 39% en H-204 y VS-202 respectivamente, que su similar limpio todo el ciclo.

LITERATURA CITADA

- AGUILAR A., S. 1973. Determinación de la época crítica de competencia entre el maíz (criollo) de temporal y las malas hierbas. Informe de Investigación Agrícola. CAEZAC-CIANE-INIA, Calera de V.R., Zacatecas.
- AGUILAR A., S. 1975. Determinación de la época crítica de competencia entre el maíz (criollo regional) y las malas hierbas. Informe de Investigación Agrícola. CAEZAC-CIANE-INIA.

- ALESSI J. and J.F. POWER. 1976. Water use by dryland corn as affected by maturity class and plant spacing. *Agron. J.* 68: 547-550.
- ANDERSON W.P. 1983. *Weed Science: Principles*. West Pub. St. Paul, Minnesota.
- AYENI A. O., I.O. AKOBUNDU, and W.B. DUKE. 1984. Weed interference in maize, cowpea and maize/cowpea intercrop in a subhumid tropical environment. II. Early growth and nutrient content of crops and weeds. *Weed Res.* 24: 281-290.
- BARRS, H.D. 1968. Determination of water deficits in plant tissues. In: T.T. Kozlowski (ed.). *Water deficits and plant growth*. Academic Press. New York.
- BRAVO L., A.G. y R. REYES F. 1989. Balance hídrico en maíz de riego en Zacatecas. p. 176. In: *Memorias XXII Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo*. Montecillo, Edo. México.
- DENMEAD O.T., and R.H. SHAW. 1960. The effects of soil moisture stress at different stages of growth on the development and yield of corn. *Agron. J.* 52: 272-274.
- GARDNER W.H. 1965. Water content. pp. 82-127. In: C.A. Black (ed.). *Methods of soil analysis. Part I. Agronomy No. 9. American Society of Agronomy*. Madison, Wisconsin.
- GEDDES R.D., H.D. SCOTT and L.R. OLIVER. 1979. Growth and water use by common cocklebur (*Xanthium pensilvanicum*) and soybeans (*Glycine max*) under field conditions. Weed and fertility management in rain-fed maize. *Experimental Agric.* 16: 195-199.
- NIETO H., J. 1959-1960. Elimine las hierbas a tiempo. *Agric. Téc. México.* 1(9): 16-19.
- NIETO H., J. y O. AGUNDIS M. 1962-1963. Que tipo de hierbas causa más daño al maíz. *Agric. Téc. México.* 2(2): 58-61.
- RAMIREZ H., M.E. 1982. El maíz de temporal para el altiplano de Zacatecas. Folleto para Productores No. 3. CAEZAC-CIANOC-INIA.
- RITCHIE S.W., and J.J. HANWAY. 1984. How a corn plant develops. Special Report No. 48. Iowa State University of Science and Technology. Ames. Iowa.
- YOUNG F.L., D.L. WYSE, and R.J. JONES. 1984. Quackgrass (*Agropyron repens*) interference on corn (*Zea mays*). *Weed Sci.* 32: 226-234.

**DIAGNOSTICO DEL SERVICIO DE ASISTENCIA TECNICA DE LA SARH
A TRAVES DE LOS EXTENSIONISTAS DE LAS AREAS MAICERAS
DEL ESTADO DE ZACATECAS**

Evaluation of Rural Extension Services at the Maize
Areas of Zacatecas

Guillermo Galindo González

Campo Experimental Zacatecas, Apartado Postal # 18,
Calera de Víctor Rosales, Zacatecas, México

Palabras clave: Asistencia técnica, Difusión de innovaciones y Producción de maíz.

Index words: Technical assistance, Innovated dissemination and Maize production.

RESUMEN

Durante 1988 la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos (SARH), a través del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales y Agropecuarias (INIFAP), desarrolló en el estado de Zacatecas el Programa Nacional de Maíz de Alta Tecnología, cuyos resultados demostraron que era factible incrementar los rendimientos de maíz de riego de 2.5 a 6.4 toneladas de grano por hectárea, en promedio, con el uso de innovaciones agrícolas ampliamente validadas. Considerando que los extensionistas son agentes clave para difundir esta tecnología entre los productores, se realizó un estudio en las áreas de riego y temporal eficiente del estado donde se cultiva maíz para diagnosticar a los extensionistas que laboran en esa región, a través del cual se pretenderá conocer la capacidad del servicio de asistencia técnica de la SARH para transferir innovaciones. Con tal propósito se efectuó en 1989 una encuesta a una muestra de 65 extensionistas tomada de una población total de 130. Los resultados

obtenidos fueron los siguientes: a) 59.9% de los extensionistas eran menores de 31 años; b) 50.7% son técnicos agrícolas, frutícolas y pecuarios; c) El 66.1% recibió al menos un curso de capacitación en 1988; d) 44.6% ha tenido poca o ninguna experiencia profesional en investigación o en trabajos conjuntos con investigadores agrícolas; e) el mayor porcentaje de extensionistas atiende a menos de 70 productores; f) existe bajo contacto con los extensionistas y el INIFAP, y la mayor información que éstos transfieren proviene de esta institución, y g) se detectaron factores que limitan la eficiencia del servicio de asistencia técnica.

SUMMARY

During 1988 The Agriculture and Hydraulic Resources Secretariat (SARH), through the National Institute for research in Forestry Agriculture and Animal Science carried out the High Technology National Maize Program in Zacatecas.

Results obtained from the latter program showed that it is possible to increase the average yield of corn under irrigated conditions from 2.5 to 6.4 t/ha by using innovated techniques. Considering that extensionists are the key for transferring such technology to the producers, an study was conducted on irrigated and efficient rainfed areas cultivated with corn in Zacatecas.

Recibido 02-92.

In order to know the capacity of the extensionists in charge of giving technical assistance, a survey was conducted during 1989 to a sample of 65 extensionists from a population of 130. Results were: a) 56.9% of the extensionists were under 31 years old; b) 50.7% are agriculture, husbandry or horticultural technicians, c) only 66.1% had received at least one training course during 1988; d) 44.6% had little or none professional experience with research or worked with agronomy researchers; e) most of the extensionists assisted less than 70 producers; f) the extensionists have reduced contact with INIFAP, nevertheless most of the information they transfer, comes from this institution; g) some factors which limit the efficiency of the extension service were identified.

INTRODUCCION

En los últimos 20 años en México no se ha producido suficiente maíz para satisfacer la demanda de su población; una de las razones básicas de ello se relaciona con la dificultad para que los agricultores incorporen las técnicas agrícolas generadas a través de la investigación a su proceso productivo. Hasta ahora, las experiencias en relación con el proceso de transferencia de tecnología no han sido satisfactorias.

En el estado de Zacatecas existen los Campos Experimentales de Zacatecas y Los Cañones, los cuales dependen del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales y Agropecuarias (INIFAP), organismo de la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos (SARH). En estos campos experimentales se han generado técnicas de producción para el cultivo de maíz, apropiadas a las diferentes condiciones agroecológicas del estado, en las cuales se siembran con este cereal un promedio anual de 423 mil hectáreas de temporal y 27 mil de riego. Las técnicas de producción generadas se han validado en predios de agricultores; sin embargo, actualmente su uso masivo por los productores maiceros es bajo en comparación con el uso potencial de tales técnicas.

Ante esta situación, la SARH en el estado de Zacatecas, a través del INIFAP, desarrolló en 1988 el Programa de Maíz de Alta Tecnología para condiciones de riego; a través

de este programa se demostró que con los resultados generados mediante la investigación realizada era posible aumentar los rendimientos de 2.5 a 6.4 toneladas de grano por hectárea en promedio. Para promover el uso extensivo de la tecnología disponible para la producción de maíz, la asistencia técnica constituye un factor acelerador; sin embargo, se desconoce cuál es el potencial actual de este servicio que otorga la SARH en Zacatecas en función de algunas características de los extensionistas.

De acuerdo con lo anterior se realizó el presente estudio con los objetivos de: a) caracterizar a los extensionistas que asisten técnicamente a los productores de maíz de riego y temporal eficiente en Zacatecas; b) conocer la formación, el grado académico máximo alcanzado, así como sus necesidades de capacitación; c) determinar el grado de experiencia profesional; d) conocer los recursos materiales con que cuentan para realizar su trabajo de asistencia técnica; e) conocer su remuneración económica, así como el número de personas que dependen económicamente de ellos; f) conocer sus expectativas como extensionistas, y g) detectar algunos factores que limiten el servicio de asistencia técnica.

REVISION DE LITERATURA

El desarrollo rural se concibe como un proceso de cambio que contempla un crecimiento sostenido de la producción agrícola (Guerra, 1982). Dentro de este proceso a través de la asistencia técnica es posible transferir a los productores rurales los conocimientos tecnológicos que faciliten los aumentos sucesivos en la producción (Sn, 1975). En México la palabra extensión fue adoptada por un servicio de asesoramiento, orientación o asistencia técnica, que proporciona el Gobierno Federal a los productores agropecuarios, y este servicio de 1911 a 1981 evolucionó en forma irregular (Mata, 1981).

En la actualidad los objetivos de la asistencia técnica que ofrecen los extensionistas son: brindar a la población rural la asistencia técnica que requieran, así como otorgar asesoría y apoyo en la gestión y obtención de crédito, insumos y servicios, entre otros (SARH, 1987); sin embargo, esta actividad no ofrece un panorama alentador, por el contrario, este servicio ha perdido calidad, lo cual se refleja en un

estancamiento productivo en el campo (Castaños, 1990).

En un estudio realizado en el Estado de México sobre el personal de la SARH que brinda asistencia técnica, se determinó que el salario que recibían era mínimo, dos terceras partes de este personal no disponían de apoyo suficiente y oportuno para movilizarse dentro de su zona de trabajo, y el 82% consideraron que sus ingresos eran una fuerte limitante para desarrollar su trabajo con eficiencia (Mendoza *et al.*, 1991).

Alba y Rojas (1983) indicaron que las principales dificultades que tienen los extensionistas del Instituto Colombiano Agropecuario para obtener información son las publicaciones desactualizadas, dificultades de transporte, y distribución deficiente de las publicaciones. Sobre el mismo tema, Galindo (1990) al efectuar un estudio en Tabasco, señaló que las principales limitantes eran: falta de medios de transporte, carencia de material de trabajo, falta de cooperación por parte de los productores y falta de coordinación entre las diferentes instituciones presentes en el estado. Por otro lado, afirmó que los medios que prefieren los extensionistas son los folletos y boletines agrícolas, las revistas y las demostraciones principalmente.

MATERIALES Y METODOS

La población de estudio estuvo constituida por 130 (N = 130) extensionistas pertenecientes a la SARH, cuya responsabilidad era brindar asistencia técnica a los productores en las áreas maiceras de riego y de temporal eficiente en el estado de Zacatecas. De la población objeto de estudio se tomó una muestra (muestreo por cuota), la cual abarcó el 50% de ésta.

Los municipios donde laboraban los extensionistas entrevistados fueron: Zacatecas 21.7%, Fresnillo 10.7%, Tlaltenango 13.7%, Ojocaliente 7.7%, Río Grande 15.4%, Jalpa 15.4% y Jerez 15.4%, los cuales pertenecen a los siguientes centros de apoyo de la SARH: Calera 12.3%, Villa de Coss 9.2%, Fresnillo 7.7%, Tepechitlán 13.8%, Pinos 4.6%, Loreto 3.1%, Miguel Auza 6.6%, Sombrerete 9.2%, Juchipila 7.7%, Jalpa 3.1%, Tabasco 4.6%, Villanueva 15% y Valparaíso 3.1%.

Para recopilar la información de campo durante el segundo semestre de 1989 se aplicó un cuestionario que constaba de 30 interrogantes, el cual se estructuró por bloques de preguntas relacionadas con el fin de facilitar la secuencia de su llenado. El contenido de las preguntas se relacionó con las siguientes variables e indicadores:

Se establecieron: edad (años cumplidos); lugar de nacimiento (estado); escolaridad (máximo grado alcanzado y área de especialización); actualización (cursos recibidos); necesidades de capacitación (temas requeridos); desempeño de carrera laboral (experiencia como extensionista); actuación como extensionista (tipo de asistencia técnica, años de laborar como extensionista y carga de trabajo efectiva); contacto con el entorno institucional (grado de relación con instituciones); medios de trabajo (disponibilidad de vehículo y combustible, renta de vehículo o pago de pasajes, así como papelería o material didáctico); exposición y uso de medios de información (fuentes de consulta, medios de recepción de información y medios masivos a través de los que divulgan información); salario (ingreso mensual); dependientes económicos (número de personas que dependen económicamente de ellos); otros ingresos (otra actividad); y, sus expectativas.

El cuestionario fue diseñado con preguntas cerradas o de opción múltiple y codificado casi en su totalidad, para facilitar la recopilación de la información y reducir la variabilidad de las respuestas. La información recabada fue analizada por medio de la estadística descriptiva, que consiste en el análisis y descripción de una serie de observaciones. Además se calculó la media aritmética para algunas variables, que resulta ser un parámetro empleado con frecuencia como mecanismo para resumir un conjunto de cantidades o números a fin de describir datos estadísticos; también se calculó la desviación estándar, que es una forma refinada de la desviación media, excepto que los signos positivos y negativos de las desviaciones individuales son tomados en consideración.

RESULTADOS Y RECOMENDACIONES

A continuación se presentan los resultados obtenidos para cada una de las variables seleccionadas.

Edad

El 56.9% de los extensionistas tenían una edad de 26 a 30 años, el 29.2% de 31 a 35 años, el 7.7% de 36 a 40 años, el 1.6% de 41 a 45, y el 4.6% más de 46 años de edad. Además, del total 59 son hombres y seis mujeres.

Lugar de nacimiento

El 84.6% son originarios del estado de Zacatecas, el 3% de Durango y el 3% de Coahuila. El 9.4% restante son de los estados de México, Veracruz, Jalisco, Sinaloa y Tamaulipas.

Escolaridad

En el Cuadro 1 se observa que el mayor porcentaje de extensionistas son técnicos agrícolas e ingenieros agrónomos, y existen otros que su formación académica no tiene relación con el medio rural.

Cuadro 1. Grado académico que tienen los extensionistas.

Grado académico	Frecuencia	Porcentaje
Técnicos agrícolas	28	43.1
Ing. agrónomos	23	35.4
Primaria terminada	4	6.3
Técnicos pecuarios	3	4.6
Técnicos frutícolas	2	3.1
Primaria sin terminar	1	1.5
Preparatoria terminada	1	1.5
Secundaria terminada	1	1.5
Agrónomo	1	1.5
Maestro en ciencias	1	1.5
Totales:	65	100

Para recopilar la información de campo durante el segundo semestre de 1989 se aplicó un cuestionario que constaba de 30 interrogantes, el cual se estructuró por bloques de preguntas relacionadas con el fin de facilitar la secuencia de su llenado. El contenido de las preguntas se relacionó con las siguientes variables e indicadores:

Se establecieron: edad (años cumplidos); lugar de nacimiento (estado); escolaridad (máximo grado alcanzado y área de especialización); actualización (cursos recibidos); necesidades de capacitación (temas requeridos); desempeño de carrera laboral (experiencia como extensionista); actuación

como extensionista (tipo de asistencia técnica, años de laborar como extensionista y carga de trabajo efectiva); contacto con el entorno institucional (grado de relación con instituciones); medios de trabajo (disponibilidad de vehículo y combustible,

Actualización

El 27.7% de los entrevistados asistió a un curso de capacitación, el 32.2% de dos a tres, el 3.1% de cuatro a cinco, el 1.5% de seis a siete y más de ocho el 1.5%; por su parte, el 33.9% de los entrevistados no asistió a ningún curso de capacitación durante el mismo año.

Los temas impartidos en los cursos a los que asistieron los entrevistados fueron: cultivo de maíz 18.4%, cultivo de frijol 18.4%, uso y manejo de agua 15.3%, organización campesina 13.8%, desarrollo rural 12.3%, manejo de plaguicidas 12.3%, ganadería 9.2%, fertilización 7.6%, seguros agropecuarios 7.6%, maquinaria agrícola 7.6%, planeación agropecuaria 7.6%, cultivos hortícolas 6.1%, estimación de cosecha 6.1%, manejo de suelos 6.1%, control de la mosca de la fruta 6.1%, agroclimatología 4.6%, y créditos agropecuarios 4.6%, entre otros.

Necesidades de capacitación

Sobre los cursos de capacitación que requerían los extensionistas mencionaron: control de plagas y enfermedades 44.6%, fertilización 24.6% riego y drenaje 23%, cultivo de maíz 23%, cultivo de frijol 23%, maquinaria agrícola 18.4%, organización campesina 18.4%, uso y manejo del agua 16.9%, fruticultura 16.9%, educación no formal 15.3%, cultivos hortícolas 14.8%, conservación de suelo 13.8%, ganadería 9.2%, cultivo del guayabo 7.6% y producción de semilla mejorada 7.6%, principalmente.

Desempeño de carrera laboral

En el Cuadro 2 se muestra que el 44.6% de los entrevistados ha obtenido poca o ninguna experiencia profesional en investigación, o en trabajos conjuntos con investigadores agrícolas; el 52.3% tiene media experiencia en programas de validación o demostración; el 41.5% tiene poca o ninguna experiencia en la conducción de parcelas demostrativas y el 58.4% tiene media experiencia en la planeación, ejecución y evaluación de actividades de asistencia técnica; además, el 55.4% tiene media experiencia en la

Cuadro 2. Experiencia profesional de los extensionistas.

Alternativas	Mucha frecuencia	%	Media frecuencia	%	Poca frecuencia	%	Ninguna frecuencia	%
1	4	6.6	32	49.2	15	23.1	14	21.5
2	12	18.5	34	52.3	11	16.9	8	12.3
3	13	20	25	38.5	16	24.6	11	16.9
4	19	29.3	38	58.5	5	7.7	3	4.6
5	25	38.5	29	44.2	9	13.8	2	3.1
6	17	26.1	32	49.2	14	21.5	2	3.1
7	9	13.8	36	55.4	15	23.1	5	7.7
8	19	29.2	29	44.6	14	21.5	3	4.6
9	10	15.4	31	47.7	15	23.1	9	13.9
10	14	21.5	25	38.5	15	23.1	11	16.9

Claves:

1. Investigación o trabajos conjuntos con investigadores agrícolas.
2. Programas de parcelas de validación o demostración.
3. Establecimiento y conducción de parcelas demostrativas.
4. Planeación, ejecución y evaluación de actividades de asistencia técnica.
5. Producción directa de cultivos básicos.
6. Aplicación de métodos para estimar rendimientos de maíz.
7. Organización y desarrollo de demostraciones y eventos de capacitación.
8. Organización de reuniones para pláticas y eventos de capacitación.
9. Organización de productores.
10. Participación de programas o proyectos de producción o desarrollo.

organización y desarrollo de demostraciones y eventos de capacitación, principalmente.

Actuación como extensionistas

Respecto a la cantidad de años que han laborado como extensionistas los resultados encontrados fueron: 63% tenía más de 6 años (Cuadro 3). Por otro lado, el 23.1% atendía menos de 1380 hectáreas, el 12.3% de 1,381 a 2,761, el 41.5% de 2,762 a 4,142, el 12.3% de 4,143 a 5,523 y el 10.8% de 5,524 a 6,904 hectáreas (con una media aritmética igual a 3,112.1 y una desviación estándar igual a 1,717 hectáreas). Si se toma en consideración que un extensionista tiene una capacidad para atender 600 hectáreas, es muy elevado lo que se le asigna a cada uno, lo cual podría estar limitando su eficiencia.

En relación con el número de productores que atendían los extensionistas, el mayor porcentaje (55.4%) asistía menos de 70 productores dentro de su zona de trabajo (Cuadro 4); además de lo anterior, el 61.4% señaló no haber establecido ninguna parcela demostrativa durante 1988, el 23.1% una, el 10.8% dos y tres el 4.6%. Aunque el número de productores que atendían es el normal, las

superficies que poseen éstos es elevada, por lo cual se debe procurar que los productores que asistan tengan en promedio un total de 600 hectáreas, con lo cual se podría aumentar la eficiencia de los extensionistas.

Cuadro 3. Años de laborar como extensionistas.

Rango	Frecuencia	Porcentaje
1 - 3	20	30.8
4 - 6	4	6.2
7 - 9	19	29.2
10 - 12	14	21.5
13 - 15	8	12.3
Totales:	65	100
Media aritmética = 7.3		
Desviación estándar = 4.2		

Cuadro 4. Productores que atienden los extensionistas dentro de su zona de trabajo.

Rango	Frecuencia	Porcentaje
Menos de 70	36	55.4
De 71 a 141	15	23.1
De 142 a 212	9	13.8
De 213 a 283	2	3.1
De 284 a 354	3	4.6
Totales:	65	100.0
Media aritmética = 91		
Desviación estándar = 77.3		

Las principales actividades realizadas por los extensionistas eran las siguientes: a) levantamiento de estadísticas de producción; b) gestión de servicio institucional de apoyo a la producción; c) asesoría directa a los productores; d) planeación de actividades; y e) elaboración de reportes y trámites administrativos para realizar su trabajo. De estas actividades, a la que dedican mayor porcentaje de su tiempo es a la tercera, a la cual dedican en promedio el 50% de su tiempo total.

Contacto con el Entorno Institucional

Los entrevistados señalaron tener un contacto bajo con los campos experimentales del INIFAP (53.9%), también con instituciones de crédito y aseguramiento (63.1%) con empresas distribuidoras de insumos (38.5%), y con organizaciones de productores agrícolas (47.7%). Además, indicaron tener nulo contacto con escuelas, instituciones y universidades de enseñanza agrícola (66.1%), con la Secretaría de Desarrollo Rural del Gobierno de Zacatecas (35.4%) y con el programa de innovación tecnológica de la SARH (15.4%) (Cuadro 5). Esto concuerda con Torres (1990) en su estudio efectuado en Zacatecas, en el que señaló que las actividades de extensión se realizaban en forma no coordinada.

Medios de Trabajo

Un alto porcentaje de los extensionistas (89.3%) indicaron que carecen de vehículo oficial y combustible para realizar su trabajo; el 66.1 % expresó que también carecen de material didáctico (Cuadro 6). Esta información coincide con la reportada por Mendoza *et al.* (1991) quienes encontraron que el primero de los recursos no lo recibían la mayoría de los extensionistas del Estado de México. Lo anterior constituye una muestra de la falta de apoyo institucional para realizar

Cuadro 5. Relación de los extensionistas con instituciones de apoyo a productores.

Institución	Frecuencia	Porcentaje	
1	Alta	3	4.6
	Regular	11	16.9
	Baja	35	53.9
2	Nula	16	24.6
	Alta	2	3.1
	Regular	17	26.1
3	Baja	41	63.1
	Nula	5	7.7
	Alta	10	15.4
4	Regular	16	24.6
	Baja	25	38.5
	Nula	14	21.5
5	Alta	5	7.7
	Regular	16	24.6
	Baja	31	47.7
6	Nula	13	20.0
	Alta	5	7.7
	Regular	3	4.6
7	Baja	14	21.6
	Nula	43	66.1
	Alta	17	26.2
	Regular	3	4.6
	Baja	22	33.8
	Nula	23	35.4
	Alta	4	6.1
	Regular	16	24.6
	Baja	35	53.9
	Nula	10	15.4

Claves:

1. Campos Experimentales del INIFAP.
2. Instituciones de crédito y aseguramiento (BANRURAL, FIRCO, etc.).
3. Empresas distribuidoras de insumos.
4. Organizaciones de productores agrícolas.
5. Escuelas, instituciones y universidades.
6. Secretaría de Desarrollo Rural del Gobierno del Estado.
7. Programa de Innovación Tecnológica de la SARH.

la labor de extensión, actividad importante para el desarrollo agrícola, y como consecuencia para el desarrollo rural integral, y que su eficiencia depende en parte de los recursos económicos que se le asignen. Además, el servicio de asistencia técnica debe pasar por una etapa de descentralización, para que la programación y dirección de sus actividades se realice más de cerca de los productores, y éstos efectúen también aportaciones para mejorar su eficiencia.

Cuadro 6. Recursos con los que cuentan los extensionistas para efectuar sus acciones.

Recursos	Normalmente	A veces	No los reciben	Totales
Vehículo oficial y combustible	7 (7.0)	2 (3.0)	58 (89.2)	65 (100)
Renta de vehículo o pago de pasajes	44 (67.7)	6 (9.2)	15 (23.1)	65 (100)
Papelaría y material didáctico	11 (16.9)	11 (16.9)	43 (66.1)	65 (100)

Exposición a medios informativos y uso de ellos

Sobre el contacto que tienen los extensionistas con los Campos Experimentales de Zacatecas y Los Cañones, el 75.4% mencionó conocerlos y haberlos visitado por lo menos en una ocasión.

Por lo que respecta a las instituciones que proporcionan información a los extensionistas sobre las técnicas de producción que ellos recomiendan destacan, por su importancia, campos experimentales del INIFAP ubicados en el estado de Zacatecas, Distritos de Desarrollo Rural, productores avanzados, compañeros extensionistas, empresas comerciales y escuelas de agronomía (Cuadro 7).

Entre los principales medios de comunicación que emplean los extensionistas para recibir la información agrícola que ellos recomiendan, sobresalieron las publicaciones editadas en los campos experimentales del INIFAP, demostraciones agropecuarias, libros y revistas, visitas de campo, reuniones y pláticas, radio y periódicos. Es importante destacar que la frecuencia con que los extensionistas se exponen a estos medios de comunicación es baja (Cuadro 8).

Por lo que respecta a los medios que utilizan los extensionistas para informar a los productores sobre las recomendaciones técnicas destacan pláticas grupales (89.2%), pláticas interpersonales (83.1%), demostra-

Cuadro 7. Origen de la tecnología que recomiendan los extensionistas.

Escala	INIFAP	Escuelas	SARH	Productores	Empresas	Extensionistas
Muy importante	51 (78.5)*	3 (4.6)	4 (6.2)	4 (6.2)	1 (1.5)	2 (3.1)
Importante	4 (6.2)	9 (13.8)	22 (33.8)	6 (9.2)	5 (7.7)	13 (20)
Regular	3 (4.6)	6 (9.2)	6 (9.2)	6 (13.8)	10 (15.4)	10 (15.4)
Escaso	3 (4.6)	3 (4.6)	8 (12.3)	10 (15.4)	6 (9.2)	6 (9.2)
Nulo	4 (6.1)	44 (67.8)	25 (38.5)	36 (55.4)	43 (66.2)	34 (52.3)

*Porcentaje.

Cuadro 8. Principales medios a través de los cuales los extensionistas reciben la tecnología que recomiendan.

Escala	Pub. INIFAP	Libros y revistas	Periódicos	Radio	Visitas de campo	Reuniones	Demostraciones
Muy importante	47 (72.3)*	5 (7.7)		1 (1.5)		4 (6.2)	6 (9.2)
Importante	4 (6.2)	21 (32.3)	1 (1.5)	4 (6.1)	4 (6.1)	9 (13.8)	15 (23.1)
Regular	2 (3.1)		4 (6.1)	2 (3.1)	14 (21.5)	12 (18.5)	11 (16.9)
Escaso	3 (4.6)	7 (10.8)	2 (3.1)	4 (6.1)	13 (20)	5 (7.7)	8 (12.3)
Nulo	9 (13.8)	32 (49.2)	58 (89.2)	54 (83.1)	34 (52.5)	35 (53.8)	25 (38.5)

*Porcentaje.

ciones agrícolas (76.9%) y publicaciones del INIFAP (52.3%), principalmente.

Salarios, dependientes económicos y otros ingresos

Por lo que respecta al salario neto mensual que reciben los extensionistas, más del 41.5% recibe salarios menores de 403 mil pesos de 1989 (Cuadro 9); y el 84% de los entrevistados señaló que el salario que reciben es una fuerte limitante para desempeñar eficientemente su trabajo, lo cual coincide con lo encontrado por Mendoza *et al.* (1991). El promedio de personas que dependen económicamente de los extensionistas es de 3.6 personas, con una desviación estándar igual a 1.6. Además, el 20% indicó realizar otras actividades diferentes a la asistencia técnica.

Cuadro 9. Salario neto mensual de los extensionistas entrevistados.

Rango (miles de pesos de 1989)	Frecuencia	Porcentaje
Menos de 261	7	10.8
De 262 a 332	17	4.6
De 333 a 403	17	26.1
De 404 a 474	36	55.4
De 475 a 545	2	3.1

Totales: 65 100

Media aritmética = \$382.8

Desviación estándar = \$ 97.5

Expectativas ante el trabajo.

Finalmente, el 100% de los entrevistados mencionó que desean continuar trabajando como extensionistas, el 95.4% indicó que tiene interés por participar en trabajos de experimentación y validación de tecnología, el 73.8% coincidió que dentro de su zona de trabajo existen grupos de productores de maíz que pueden pagar el servicio de asistencia técnica, y el 89.3% afirmó que es factible duplicar el rendimiento de maíz en su zona de trabajo con el uso de la tecnología que recomiendan los campos experimentales.

DISCUSION

Es alto el porcentaje de extensionistas menores de 31 años de edad, y esto se debe a que a finales de las décadas de los setentas y

de los ochentas, se le dió, por parte del Gobierno Federal, un fuerte impulso a la asistencia técnica, por lo cual se realizaron numerosas contrataciones. Lo anterior está relacionado con el número de años que tienen de prestar asistencia técnica.

Casi la mitad de los entrevistados tienen como formación la carrera de técnico agrícola, lo cual es considerado bajo, ya que éstos no lograron obtener un título universitario; lo anterior resulta una limitante para que la asistencia técnica que se brinda sea eficiente y de buena calidad. Probablemente una forma de aprovechar la diferente preparación académica de los extensionistas sería la formación de equipos de trabajo interdisciplinarios, con la participación de los especialistas, de acuerdo con las actividades forestales o agropecuarias que se realicen en determinada zona de trabajo.

Respecto a las variables actualización, necesidades de capacitación y desempeño laboral cabe mencionar, por un lado, que la asistencia a cursos durante 1988 no fue tan eficiente (34% de los entrevistados no asistió a algún curso de capacitación); y por el otro, que aunque la capacitación recibida coincide en muchas áreas con las necesidades de capacitación expresadas, sería necesario priorizar acciones. Caso concreto si se requiere intensificar la asistencia técnica para los productores de maíz, sería conveniente diseñar y emprender periódicamente cursos que traten sobre este cultivo y de los factores que influyen en la producción.

Otro aspecto, tan importante como la capacitación en el proceso productivo, lo constituye la capacitación de los extensionistas en aspectos de validación y transferencia de tecnología, así como en el diseño y uso de medios de comunicación grupales e interpersonales, factor imprescindible en el proceso de difusión de innovaciones, lo cual les permitirá desarrollar un trabajo más eficiente y con mayor impacto.

El 44.6% de los entrevistados respondió no haber tenido experiencia profesional en trabajos conjuntos con investigadores o en investigación, lo cual es una evidencia de la baja relación con el INIFAP. No obstante lo anterior, el 50% de los agentes de cambio cuentan con experiencia media en programas de parcelas de validación y/o demostración,

ejecución y evaluación de actividades de asistencia técnica en la producción de cultivos básicos, en la aplicación de métodos para estimar rendimientos de maíz, en organización de productores, y en la participación de programas de desarrollo y/o de producción. Sin embargo, a pesar de la experiencia que éstos tienen, su tiempo lo dedican principalmente al levantamiento de datos estadísticos de producción, gestión de servicio institucional de apoyo a la producción, planeación de actividades, y elaboración de reportes y trámites administrativos.

De esta información se deduce que sería importante incrementar las horas hombre que cada extensionista dedica a las actividades de asistencia técnica; y la SARH debería establecer otros departamentos encargados de realizar las actividades ajenas a la extensión. Además, se debería establecer que la función principal de los extensionistas es transferir tecnología que acelere el aumento sucesivo en producción y como consecuencia de ello el ingreso de las familias del medio rural, ya que falta una definición precisa para la función de la extensión, en términos de objetivos y metas.

Considerando la información que proporcionaron los entrevistados en relación con la variable medios de trabajo, resulta incomprensible la escasez de apoyo del servicio de extensión en aspectos tan básicos como vehículo y combustible, papelería y material didáctico, ya que el no contar con apoyo tan elemental, el éxito en el servicio de extensión, y por ende en la productividad agrícola, será evidentemente muy limitado.

Por otro lado, el hecho de que los extensionistas perciban salarios tan bajos, agrega un factor negativo más a la actividad de extensión, pues el 84% de los entrevistados señaló que el salario que reciben es una fuerte limitante para desempeñar eficientemente su trabajo.

Lo anterior manifiesta la necesidad impostergable de apoyo del servicio de asistencia técnica, sobre todo en cuanto al salario de los extensionistas. Probablemente éstos deberían recibir una remuneración equivalente a la que recibe un investigador agropecuario, estableciendo normas de excelencia en cuanto a preparación académica y servicio a la comunidad.

Entre las instituciones de donde los agentes de cambio obtienen información que recomiendan, destacó el INIFAP como muy importante, no obstante esta importancia, de acuerdo con la información recabada, el contacto con la institución es bajo, así como este contacto es bajo con otras instituciones oficiales del sector agropecuario y con escuelas de enseñanza media y superior. Esta información se puede interpretar como una limitante muy importante para la labor de extensión; por lo tanto, si la SARH y el propio INIFAP tiene interés porque se aumente la productividad en el campo haciendo uso de innovaciones agrícolas, entonces deberían enfocar esfuerzos a tratar de lograr mayor acercamiento entre ambas instituciones en primera instancia, por ser el INIFAP la institución generadora de información. Aunque en realidad debería hacerse real el hecho de que una dependencia o institución se hiciera responsable del funcionamiento articulado del sistema institucional agropecuario para lograr una relación más estrecha entre éstas, y un mayor acercamiento de los extensionistas hacia las mismas, con el objetivo central de lograr mayor eficiencia en el servicio de asistencia técnica.

CONCLUSIONES

La mayoría de los extensionistas tienen una edad menor de 30 años, cursaron la carrera de técnicos y son originarios del estado de Zacatecas.

La capacitación que reciben es deficiente y con temas variados, además sus necesidades de capacitación también son muchas, e incluyen aspectos sobre el cultivo de maíz. Por lo que se refiere al contacto que tienen con los Campos Experimentales del INIFAP es bajo, sin embargo, un alto porcentaje de la tecnología que ellos transfieren la reciben de ésta institución por medio de diferentes publicaciones.

La mayor parte del tiempo disponible de los entrevistados, la emplean para realizar actividades que no tienen relación directa con la asistencia técnica.

Existen fuertes limitantes que frenan la eficiencia del servicio que prestan los extensionistas, entre los que destacan: el bajo salario, falta de medios de transporte y

de recursos materiales, así como una baja interacción con otras instituciones del sector agropecuario presentes en Zacatecas.

LITERATURA CITADA

- ALBA, R. y C. ROJAS. 1988. Extensión rural; desarrollo rural o transferencia de tecnología. pp. 46-47. *In*: Reunión de Extensionistas del Instituto de Ciencias Agrícolas de Tabaitata (Colombia).
- CASTAÑOS C., M. 1990. Alternativas a la crisis rural en México. México, Agrocomunicaciones Saenz Colin. 110 p.
- GALINDO G., G. 1990. Medios de comunicación y los extensionistas del estado de Tabasco. *In*: Congreso Nacional de Fitogenética (México).
- GUERRA, G. 1982. La conceptualización del desarrollo. *Desarrollo Rural de las Américas* 15(1): 1-4.
- MATA G., B. 1981. Un modelo alternativo a la educación y capacitación campesina en México. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México.
- MENDOZA M., S. *et al.* 1991. Proyectos 1991 de la Red de Divulgación. INIFAP. Chapingo, México.
- SARH. SECRETARIA DE AGRICULTURA Y RECURSOS HIDRAULICOS. 1987. Programa Nacional de Capacitación Distrital, módulo de filosofía del promotor. México, D.F.
- SN. 1975. Extensión y transferencia. *Desarrollo Rural de las Américas* 7(1): 5-8.
- TORRES H., F. 1990. Análisis de la asistencia técnica agropecuaria en el estado de Zacatecas. (Tesis de licenciatura), Universidad Autónoma de Fresnillo.

DIVISION III

Comparación de procedimientos estadísticos para la selección de métodos químicos de diagnóstico de la fertilidad del suelo.

**M. EDNA ALVAREZ S. y
JORGE D. ETCHEVERS B.** 73

La materia orgánica del suelo como función de factores físicos y el uso y manejo del suelo.

**VICTOR VOLKE HALLER,
JORGE FRAUSTO REYES y
CESAR MERINO BAZAN** 85

Situación de los micronutrientes en los suelos agrícolas del estado de Tlaxcala.

**LOURDES CRUZ H. y
J.D. ETCHEVERS B.** 93

Evaluación de tres variedades criollas de maíz asociadas con frijol en condiciones de temporal en los valles centrales de Oaxaca.

**MARIO GARCIA SOLORIO y
JAIME RUIZ VEGA** 100

Efecto de la maleza en el crecimiento del maíz.

MARIO D. AMADOR RAMIREZ 106

DIVISION IV

Diagnóstico del servicio de asistencia técnica de la SARH a través de los extensionistas de las áreas maiceras del estado de Zacatecas.

GUILLERMO GALINDO GONZALEZ 115