



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

TERRA

Volumen 9

Julio-Diciembre de 1991

Número 2

DIVISION I

INDICE

DIVISION II

Destimación del agua en el suelo.

R.D. VALDEZ-CEPEDA

114

Análisis foliar de seis cultivares de vid en la
Comarca Lagunera.

RAUL MANCILLA y DIAZ INFANTE

122

Respuesta de la alfalfa a diferentes contenidos
de humedad del suelo.

MARCO A. INZUNZA I.

129

Respuesta de dos genotipos de frijol al
acolchado bajo condiciones de temporal en
Aguascalientes.

M.A. MARTINEZ GAMIÑO

139

Respuesta del maíz H-204 al acolchado en un
segundo ciclo de cultivo bajo condiciones de temporal
en Aguascalientes.

M.A. MARTINEZ GAMIÑO

145

Validación del acolchado plástico en tomate,
pepino, sandía y algodón en el noroeste de
México.

LUIS IBARRA J., A. RODRIGUEZ P.

150

Diseño y calibración de un atmómetro para
estimar el déficit hídrico del suelo bajo condiciones
de campo.

MARCO A. INZUNZA I. ENRIQUE PALACIOS V.

157

Validación de un modelo de simulación del
sistema suelo-planta-atmósfera en el cultivo frijol
(*Phaseolus vulgaris* L.) en la sierra de Chihuahua.

PEDRO ORTIZ FRANCO,
FELIPE OROZCO VIRAMONTES y
VENANCIO D. SOLANO ROMERO

164

EDITORIAL

ARTICULOS CIENTIFICOS

COMISION EDITORA

DR. JORGE D. ETCHEVERS B., Editor
DR. ANDRES AGUILAR SANTELISES
M.C. ROBERTO QUINTERO LIZAOLA

MESA DIRECTIVA 1990-1992

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 9-2, julio-diciembre 1991.

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.

Fe de Errata Vol. 9(1): 59-68

(Ver página: 248-249)

<i>División I: Diagnóstico, Metodología y Evaluación del Recurso Suelo</i>	
Estimación del agua en el suelo. R.D. VALDEZ-CEPEDA.	114
<i>División II: Relación Suelo-Clima-Biota</i>	
✓ Análisis foliar de seis cultivares de vid en la Comarca Lagunera. RAUL MANCILLA Y D.I.	122
✓ Respuesta de la alfalfa a diferentes contenidos de humedad del suelo. MARCO A. INZUNZA I.	129
✓ Respuesta de dos genotipos de frijol al acolchado bajo condiciones de temporal en Aguascalientes. M.A. MARTINEZ GAMINO.	139
✓ Respuesta del maíz H-204 al acolchado en un segundo ciclo de cultivo bajo condiciones de temporal en Aguascalientes. M.A. MARTINEZ GAMINO.	145
✓ Validación del acolchado plástico en tomate, pepino, sandía y algodón en el noroeste de México. LUIS IBARRA J., A. RODRIGUEZ P.	150
✓ Diseño y calibración de un atmómetro para estimar el déficit hídrico del suelo bajo condiciones de campo. MARCO A. INZUNZA I. ENRIQUE PALACIOS V.	157
✓ Validación de un modelo de simulación del sistema suelo-planta-atmósfera en el cultivo frijol (<i>Phaseolus vulgaris</i> L.) en la sierra de Chihuahua. PEDRO ORTIZ FRANCO, FELIPE OROZCO VIRAMONTES y VENANCIO D. SOLANO ROMERO.	164
✓ Impacto de la sequía en la simbiosis <i>Phaseolus vulgaris</i> - <i>Rhizobium leguminosarum</i> biovar <i>phaseoli</i> . DAVID ESPINOSA-VICTORIA, RONALD FERRERA-CERRATO y ALFONSO LARQUE-SAAVEDRA.	173
✓ Modelos de avance superficial del agua en surcos. G. BRIONES S., S.M. CHAPA G., S.Z. GARZA V. y E. LUNA D.	186
<i>División III: Aprovechamiento del Recurso Suelo</i>	
✓ Respuesta del maíz al fósforo en la Ciénega de Chapala. J. VENEGAS G., M. VELAZQUEZ M. y J.L. PIMENTEL E.	197
✓ Situación del fósforo en los suelos de Tlaxcala. LOURDES CRUZ H., JORGE D. ETCHEVERS B. y JOSE RODRIGUEZ S.	204
✓ Evaluación de la fertilidad de los suelos de pradera de la región de Teziutlán, Pue. JOSE LUIS ZARATE V. y JORGE D. ETCHEVERS B.	210
✓ Factores que afectan la siembra en seco del maíz bajo temporal. SERGIO URIBE G., NESTOR FRANCISCO N., JOSE L. ZUÑIGA G., RENE CAMACHO C. y ANTONIO TURRENT F.	221
✓ Comportamiento de malezas en diferentes niveles de humedad del suelo. MARIO D. AMADOR RAMIREZ.	230
NOTA DE INVESTIGACION	
✓ Relación entre los procedimientos Olsen y Bray-1 de extracción de P, evaluados en suelos ácidos de Tlaxcala. LOURDES CRUZ H. y JORGE D. ETCHEVERS B.	237

Division I: Diagnosis Methodology and Evaluation of the Soil Resour

- Estimation of Soil Water. R.D. VALDEZ-CEPEDA. 114

Division II: Soil-Climata-Biota Relationship

- Foliar Analyses of Six Grape Cultivars in the Comarca Lagunera. RAUL MANCILLA and D.I. 122
- Response of the alfalfa to different soil water contents. MARCO A. INZUNZA I. 129
- Response of beans to plastic mulch under rainfall condition in Aguascalientes, Mexico. M.A. MARTINEZ GAMINO. 139
- Response of corn H-204 to plastic mulch in a second cycle under rainfall conditions in Sandoval, Aguascalientes, Mexico. M.A. MARTINEZ GAMINO. 145
- Validation on black plastic mulch on tomato, cucumber, watermelon and cotton in the northwest of Mexico. LUIS IBARRA J. and A. RODRIGUEZ P. 150
- Desing and calibration of an atmometer to estimate the soil water defficit under field conditions. MARCO A. INZUNZA I. and ENRIQUE PALACIOS V. 157
- Validation of a soil-plant-atmosphere system simulation model in dry beans (*Phaseolus vulgaris* L.) in Chihuahua's rangers. PEDRO ORTIZ FRANCO, FELIPE OROZCO VIRAMONTES and VENANCIO D. SOLANO ROMERO. 164
- Effect of drought on *Phaseolus vulgaris-Rhizobium leguminosarum* biovar *Phaseoli* symbiosis. DAVID ESPINOSA-VICTORIA, RONALD FERRERA-CERRATO and ALFONSO LARQUE-SAAVEDRA. 173
- Surface advance models for furrow irrigation. G. BRIONES S., S.M. CHAPA G., S.Z. GARZA V. and E. LUNA D. 186

Division III: Use of the Soil Resource

- Corn Response to Phosphorus in the Cienega de Chapala, Mexico. J. VENEGAS G, M. VELAZQUEZ M. and J.L. PIMENTEL E. 197
- Soil phosphorus status in Tlaxcala, Mexico. LOURDES CRUZ H., JORGE D. ETCHEVERS B. and JOSE RODRIGUEZ S. 204
- Soil fertility evaluation of grassland of Teziutlan, Pue. (Mexico). JOSE LUIS ZARATE V. y JORGE D. ETCHEVERS B. 210
- Factors affecting corn planted in dry soil under rainfed conditions. SERGIO URIBE G., NESTOR FRANCISCO N., JOSE L. ZUÑIGA G., RENE CAMACHO C. and ANTONIO TURRENT F. 221
- Weed behavior at different soil moisture levels. MARIO D. AMADOR RAMIREZ. 230

TECHNICAL NOTE

- Relationship between the Olsen and Bray-1 procedures of P-extractable determination, evaluated in acid soils of Tlaxcala. LOURDES CRUZ H. and JORGE D. ETCHEVERS B. 237

EDITORIAL BOARD

DR. JORGE D. ETCHEVERS B., Editor
DR. ANDRES AGUILAR SANTELISES
M.C. ROBERTO QUINTERO LIZAOLA

BOARD OF DIRECTORS 1990-1992

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 9-2, July-December 1991.

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.

Errata Vol. 9(1): 59-68

(See page: 248-249)

EDITORIAL

Diciembre 1991. Las revistas científicas tienen sólo un objetivo central: transmitir información de una persona que escribe a otra que lee. ¿Por qué un autor debe preocuparse del aspecto formal del lenguaje escrito, además de la calidad de la información que contiene un reporte? Según un comité de editores de la Sociedad Americana de Agronomía, de la Sociedad Americana de la Ciencia del Suelo y de la Sociedad de Cultivos de ese país, quienes se inspiraron en un trabajo publicado en la revista *Neurology*, existen, al menos, dos razones; estas razones son las siguientes:

Primera: porque un trabajo bien escrito es entendido con mayor facilidad por los revisores. Ello significa que tendrá mayores posibilidades de ser aceptado, se le hará menos correcciones y será publicado en menor tiempo.

Segunda: porque la experiencia ha demostrado que los lectores entienden mejor un trabajo bien escrito y claro que uno que es confuso.

Los revisores de *TERRA*, y los de cualquiera otra publicación, son gente ocupada. Tienen la mejor buena voluntad para realizar el trabajo que se les solicita, pero no debemos olvidar que también tienen investigaciones que realizar y manuscritos que preparar. Además de muchas otras obligaciones profesionales y personales. Cada vez que un revisor recibe un trabajo hace un esfuerzo por leerlo tan pronto como le es posible y entenderlo, pero si el trabajo está mal escrito y no puede descifrarlo a la primera lectura, seguramente lo dejará a un lado hasta que dispongan de mayor tiempo para hacerlo. Si al intentarlo nuevamente tiene la misma sensación de dificultad que la primera vez, llegará a la conclusión que el esfuerzo que invertirá en corregirlo es mayor que los beneficios que se pueden obtener.

Los trabajos confusos sólo serán leídos por el autor y sus colegas más próximos. Si este

es interesante, pero no está bien escrito, probablemente logre captar un grupo un poco más amplio de lectores. Por el contrario, un trabajo bien concebido, bien escrito, claro y conciso será ampliamente leído y citado, lo cual le dará amplias satisfacciones al autor. En otras palabras es, "el tiempo que se invierte en producir un buen escrito, se traducirá en un alto porcentaje de aceptación y de reconocimiento por los colegas".

El secreto para escribir un trabajo de excelencia, es mantener siempre al lector en mente. Aquellos autores que así lo hacen, son capaces de transmitir la información que desean en una forma más lúcida que los que escriben sólo para sí mismos. El científico que tiene la actitud de: "Por qué me he de preocupar como presentar la información si todo el mundo entiende lo que quiero decir", está en una posición incorrecta. La verdad sea dicha, no todo el mundo conoce o entiende lo que se quiere comunicar. Por ejemplo, un estudiante que recién se inicia en el campo del que trata el trabajo y que posee un nivel de conocimiento inferior al del autor, otro científico que trabaje en un área parecida, pero no igual a la del que escribe o un lector cuya lengua nativa sea diferente a del que escribe el reporte, tendrán serias dificultades para descifrar el contenido si la presentación no es clara y explícita. El científico inteligente y preocupado de que sus conocimientos tengan una amplia difusión, siempre mantendrá a sus lectores potenciales en la mente.

Revisemos a continuación algunos aspectos importantes de la estructura y forma que debe tener un trabajo escrito para alcanzar éxito entre los lectores.

Un título apropiado atraerá a un grupo de lectores que de otra manera pasaría por alto el trabajo; por el contrario, un título inadecuado hará que aún los lectores potenciales lo ignoren. Emplee el mínimo de palabras posible (entre 8 y 15 en español,

entre 6 y 12 en inglés). No use abreviaciones o nombres científicos si hay una palabra en español que los pueda sustituir. Comience el título con las palabras claves del trabajo y no con frases que tienen poco impacto como "Efecto de..." o "Influencia de...". Evite las ambigüedades y los títulos largos.

El resumen debe contener información explícita y en cantidad suficiente para que los aspectos principales del trabajo sean comprendidos. Absténgase de incluir en el resumen frases como "... son descritas" o "... es presentada" y todo aquello que no es relevante. En vez de las frases anteriores describa y presente claramente la información que considere pertinente. Recuerde que por cada persona que lee el trabajo completo hay entre 50 y 500 que sólo leen esta sección. Siempre comience el resumen con la motivación y los objetivos, nunca empiece describiendo directamente los materiales y métodos. Cuando una persona lee el inicio de un resumen que dice: "Se estudió el efecto del producto químico A en la B...", tiene todo el derecho de preguntarse ¿por qué se realizó este estudio?

Procure que el por qué, el qué, el cómo, el cuándo, el dónde y los principales resultados queden incluidos en esta sección.

Antes de iniciar la escritura de un trabajo lea bien las Normas de la Revista TERRA y luego aplíquelas al texto que desarrollará. Si no lo hace el revisor pensará que usted preparó el escrito para otra publicación y que lo ha enviado a TERRA porque fue rechazado por el Comité Editorial de esa. Comenzar el análisis de un reporte científico con la idea anterior, puede predisponer negativamente al revisor. Un revisor irritado de antemano puede no juzgar imparcialmente un escrito.

Los errores innecesarios también molestan a los revisores y a los editores. Por lo que le recomendamos que edite cuidadosamente su escrito, para eliminar los problemas ortográficos, de puntuación, así como los errores gramaticales. Si después de hacerlo

considera que el trabajo está perfecto, déjelo en su escritorio por unos días y luego vuélvalo a leer. En muchos casos se preguntará ¿Cómo pude escribir este texto?

Revise escrupulosamente la exactitud de sus referencias. Usted no se imagina la cantidad de trabajos que llegan a mano de los editores y correctores con citas incompletas o con fechas en el texto que no coinciden con las señaladas en las referencias, con títulos incorrectos, con los nombres de los autores escritos de una manera en el cuerpo del trabajo y de otra en la lista de referencias, o que simplemente se citan en el primero y se ignoran en la segunda.

Los editores y revisores de TERRA no pueden invertir tiempo en hacer correcciones a escritos mal preparados, la responsabilidad de una buena preparación recae únicamente en el o los autores. Si usted tiene dificultades para escribir bien en español, consulte a un colega que, tenga esta habilidad o apersónese con un editor profesional.

Organice su trabajo de modo que responda a las cuatro siguientes preguntas básicas.

1. ¿Qué es lo que hice y por qué lo hice?
Introducción
2. ¿Cómo lo hice?
Materiales y Métodos
3. ¿Qué fue lo que aprendí?
Resultados
4. ¿Cuál es el significado de lo aprendido y cómo se relaciona con lo que sabe al respecto?
Discusión y Conclusiones

En la introducción cite solamente aquellos trabajos más importantes relacionados con la materia que usted trata en su investigación o algunos revisores o compilaciones que juzgue de trascendencia. No intente hacer referencia a toda la información disponible sobre el tema. Tres o cuatro citas y no más de seis

son suficientes para corroborar una aseveración.

Evite la repetición; no repita el resumen en la introducción ni la introducción en la discusión. Si usted señala un nombre científico, químico o de un suelo en el resumen no haga referencia en el texto, nuevamente a él. Sin embargo, es necesario repetir algunas cosas del texto en los títulos de los cuadros y las figuras, ya que muchos lectores estudian esta información antes de leer el artículo completo. En el texto haga referencia a cuadros y figuras pero no repita su contenido.

No mezcle los hechos con las opiniones; si usted incluye estas últimas o cualquier especulación, déjelo claramente establecido.

Sea conciso, no le de vueltas a un asunto. Los trabajos cortos y concisos tienen mayor probabilidad de ser aceptados que los largos e imprecisos, además cuestan menos publicarlos.

En los escritos científicos existe la tendencia a abusar de la voz pasiva, es decir, la conjugación del verbo ser con un participio pasivo de un verbo activo, así como también a abusar de la forma reflexiva. Evite esta forma de escritura; es mejor decir: "observamos que el fenómeno tal...", que "fue observado que el fenómeno tal...". La palabra respectivamente a veces dificulta la lectura de una frase, si usted puede evitarla, hágalo.

Hay ciertas palabras que comúnmente aparecen en los textos científicos que no contribuyen en nada al esclarecimiento de una frase. Es preciso evitar su uso. Algunos ejemplos de éstas son los siguientes: "localizado", "pasada", "cuidadosamente",

"muy". Ejemplo: "El ensayo fue localizado cerca de Montecillo y se condujo cuidadosamente; el sitio tenía una historia pasada de fertilización muy elevada". Lo mismo se dice de la siguiente manera: "El ensayo estuvo cerca de Montecillo; el sitio tenía una historia de fertilización abundante". Es obvio que toda historia es pasada y que cualquier investigación se tiene que conducir cuidadosamente, así que las palabras mencionadas sobran. Después de escribir una frase léala y verifique si puede eliminar palabras sin que ello altere el sentido de lo que quiere decir. Evite el empleo de palabras que tienen un sentido ambiguo, que puedan ser interpretadas de manera diferente por los lectores. Ejemplo de estas palabras son: grande, bajo, alto, muy, poco, mucho, etc.

La escritura científica no es difícil, pero tampoco es simple como pudiera pensarse. Cualquier científico puede escribir para que le entiendan unos pocos. Si usted aspira a un público más amplio, tome tiempo adicional para preparar sus escritos, estudie la lengua española, vea como escriben aquellas personas que son reconocidas por expresar claramente sus ideas e imítelos, practique, hágase asesorar por aquellos que saben más que usted. De esta forma comenzará a tener más éxito entre sus colegas, una mayor proporción de sus trabajos será aceptada para publicación y en menor tiempo. Y quizás usted se transforme en uno de esos científicos que escriben tan bien que causan un impacto fuera de su campo de estudios y sirva de modelo a otros que aspiran a emularlo.

El editor.

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.

ESTIMACION DEL AGUA EN EL SUELO

Estimation of Soil Water

R.D. Valdez-Cepeda

Universidad Autónoma Chapingo
Centro Regional Universitario del Centro Norte
Apartado Postal No. 196
98000 Zacatecas, Zac., México

Palabras clave: Interpolación, Valores insesgados, Kriging.

Index words: Interpolation, Unbiased values, Kriging.

RESUMEN

La estimación o interpolación de una variable de interés en puntos donde ésta no se mide es un problema que debe ser resuelto. Dicho problema se agudiza cuando la variable presenta gran variabilidad en espacio y en tiempo y a intervalos pequeños. Tal es el caso del agua en el suelo aplicada en forma de lámina (mm), es por ello que el objetivo del presente trabajo fue definir un procedimiento basado en el método kriging, el cual realiza estimaciones insesgadas con mayor eficiencia. El procedimiento anterior fue aplicado en aquellos puntos donde la variable de interés involucra el valor medido en la estimación (KPVM) y para aquellos puntos medidos o no y espaciados regularmente (KPER). Estos últimos mostraron mayor calidad que el procedimiento para puntos donde la variable fue medida e involucró incluso un análisis "jackknife" (KPJ), para puntos señalados en un archivo

determinado (KPAD). La comparación se fundamentó en los errores reducidos $r(X_i)$, y la relación entre valores medidos y estimados. KPVM y KPER presentaron una media de los errores reducidos, mR , igual a cero y varianza $\sigma^2 R$, mínima. KPER es el procedimiento kriging más útil debido a que genera una cantidad de datos mayor a la de valores medidos.

SUMMARY

Estimation or interpolation within domains when the variable was not measured is a problem which must be elucidated. Such problem is bigger when the variable shows a great variability in short intervals in space and time. One example is soil water. In this context, the objective of this research was to define the kriging procedure which permits to obtain unbiased estimations, with more quality of this variable expressed in head (mm) terms. The evaluated procedures are the following: self-fit analysis (KVM), calculated as a regular grid with user-specified lag increments (KPER), the same as the coordinate points for the input data set but interpolation jackknifed or with cross-validation (KPJ) and read from a separate file containing the coordinate points (KPAD). Comparison was based on reduced errors, $r(X_i)$,

Recibido 9-90.

and on the relationship between paired measures *versus* estimated values for the same point. KPVM and KPER have mean reduced error, mR , equal to zero and variance, σ^2R , equal to zero; in other words, both are the procedures with the highest quality. Moreover, KPER is a profitable kriging procedure because it is an unbiased value generator.

INTRODUCCION

La mayoría de los investigadores analizan datos usando métodos estadísticos clásicos, de manera que asumen independencia entre muestras. Tal suposición es válida cuando las observaciones siguen una distribución normal. Aún así, en algunos grupos de observaciones éstas pueden estar distribuidas normalmente, indiferentes a la frecuencia de muestreo.

Generalmente, los valores de las variables de interés agronómico, ecológico e hidrológico tienden a ser similares conforme es menor la distancia, en espacio y tiempo que las separa. Sin embargo, la estimación o interpolación de los valores en puntos dentro del dominio donde la variable no se midió, es un problema que debe ser resuelto para que los interesados tengan la posibilidad de obtener un conocimiento más valioso del comportamiento de la variable y de los procesos dependientes de ella.

El problema de interpolación se agudiza cuando la variable de interés presenta una gran variabilidad a intervalos pequeños, como la humedad del suelo.

El método de interpolación kriging es útil para estimar valores, dentro del dominio, en forma óptima y con la máxima eficiencia; pues se basa en el grado de autocorrelación entre observaciones vecinas.

Autocorrelación.

La autocorrelación, como método para estimar la dependencia espacial y temporal entre observaciones vecinas, se originó con

los análisis de series de tiempo (Vieira *et al.*, 1983); y es definida por medio de la semivarianza estadística $\tau(h)$, estimada para cada intervalo específico de distancia o tiempo (Ecuación 1).

$$\tau(h) = \frac{1}{N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} [Z(X_i) - Z(X_{i+h})]^2 \quad (1)$$

donde: $Z(X_i)$ es el valor medido en el punto X_i ; $Z(X_{i+h})$ es el valor medido en el punto X_{i+h} ; y $N(h)$ es el número total de pares de datos o diferencias para el intervalo h , en cuestión.

La curva resultante entre las $\tau(h)$ *versus* el vector de desplazamiento (h) se denomina semivariograma. Este último representa el porcentaje de cambio de la variable con respecto a h , y su comportamiento describe el patrón de la variación espacial o temporal en términos de magnitud escala y forma general, o bien, de estructura. Para ello lo anterior se fundamenta en los parámetros: rango, A , o intervalo en el cual existe dependencia entre los datos; varianza nugget, C_0 , o varianza no percibida con los datos analizados; varianza identificada con los datos, C_1 ; y varianza total o umbral, C . El umbral se aprecia cuando la dispersión es finita, requisito indispensable para efectuar las interpolaciones mediante kriging.

Kriging

La interpolación para puntos, X_0 , donde la variable estacionaria no se midió, puede hacerse al suponer una combinación lineal de los valores medidos, $Z(x_i)$, e involucrando un peso o coeficiente de ponderación, θ_i , para cada uno de ellos (Ecuación 2).

$$z(X_0) = \sum_{i=1}^N \theta_i Z(X_i) \quad (2)$$

Vieira *et al.* (1983) consignaron que las formas principales para distribuir los coeficientes de ponderación incluyen la inversa del cuadrado de las distancias, la

inversa de las distancias y la inversa del número de valores medidos. El mejor estimador será, por supuesto, insesgado (Ecuación 3), y tendrá varianza mínima (Ecuación 4).

$$E(z(X_0) - Z(X_0)) = 0 \quad (3)$$

$$E(z(X_0) - Z(X_0))^2 = \text{mínima} \quad (4)$$

En consecuencia, la suma algebraica de los coeficientes de ponderación, \emptyset_i , deberá ser igual a la unidad (Ecuación 5).

$$\sum_{i=q}^N \emptyset_i = 1 \quad (5)$$

La Ecuación 5 puede ser escrita en términos de notación matricial (Ecuación 6) involucrando la covarianza, $C(h)$.

$$[C] [\emptyset] = [b] \quad (6)$$

Así, la solución es obtenida mediante la ecuación 7.

$$[\emptyset] = [C]^{-1} [b] \quad (7)$$

La ecuación 5 puede, entonces, servir para identificar los coeficientes de ponderación para cada punto, expresada en términos de covarianza, $C(h)$, o de semivarianza $\tau(h)$. La ventaja con $C(h)$ es que se relaciona numéricamente al método usado para obtener la solución porque es una función decreciente (los valores mayores en la matriz se ubican en la diagonal principal). Sin embargo, la $\tau(h)$ es más práctica cuando su valor depende de h y no de la posición. Por consiguiente, la Ecuación 5 puede también reportarse al involucrar el error, μ , considerando la función del semivariograma (Ecuación 8).

$$\sum_{j=1}^N \emptyset_j \tau(X_i, X_j) + \mu = \tau(X_i, X_0) \quad (8)$$

donde: $i=1$ hasta N ; y $\sum_{j=1}^N \emptyset_j = 1$

Definición de Vecindad.

Si la Ecuación 7 es usada para definir $[\emptyset]$, se requerirá de una inversión para cualquier número de estimaciones dentro del dominio mediante kriging, debido a que la matriz $[C]$ será invariante con X_0 , y únicamente $[b]$ cambiará con X_0 .

Puesto que los \emptyset_i decrecen conforme la distancia entre X_0 y X_i se incrementa, es posible que los puntos ubicados a intervalos mayores sean omitidos, lo cual puede conducir a problemas serios (Burguess y Webster, 1980). Sin embargo, los procedimientos más comunes tienden a seleccionar los valores medidos más cercanos para definir el número de vecinos por involucrar en la estimación de los \emptyset_i .

Robertson (1987) elaboró algoritmos computacionales para hacer interpolaciones que requieren de una primera aproximación de definición de vecindad (número de vecinos y radio de acción) y que al ejecutar la estimación siguen diferentes procedimientos de interpolación kriging: 1) Para puntos donde la variable fue medida e involucra el valor medido en la estimación (KPVM); 2) Para puntos espaciados regularmente, hayan sido medidos o no (KPER); 3) Para puntos donde la variable fue medida e involucra un análisis "jackknife" o de validación cruzada (KPJ); y 4) Para puntos señalados en un archivo determinado (KPAD).

Es evidente que al definir la vecindad óptima se involucre criterios diferentes, a tal grado que es frecuente cometer errores y hacer estimaciones puntuales sesgadas, o con desviaciones de magnitud considerable.

Error de Estimación.

Con el procedimiento kriging, al igual que con otros métodos de interpolación, se involucra un error. Este error se debe a que el valor estimado es, generalmente, diferente al valor medido (Journel y Huijbregts, 1978). Por lo tanto, es preferible utilizar los errores reducidos, $r(X_i)$, para conocer la condición de sesgo y la varianza del

estimador, debido a que son considerados como una realización particular de la variable aleatoria, $R(X_i)$ para el punto X_i . Los errores reducidos se calculan mediante la Ecuación 9.

$$r(X_i) = [z(X_i) - Z(X_i)] / \sigma_k(X_i) \quad (9)$$

donde: $k(X_i)$ es la desviación estándar de la estimación.

El conjunto $\{R(X_i) = [z(X_i) - Z(X_i)] / S(X_i)\}$ es una función aleatoria $R(X_i)$, en la cual $S(X_i)$ es la variable aleatoria correspondiente a la desviación estándar de estimación, $\sigma_k(X_i)$. Por lo tanto, es posible hacer inferencias estadísticas sobre $R(X_i)$ y calcular el estimador medio, $mR = E\{R(X_i)\}$, y la varianza, $\sigma^2 R = \text{var}\{R(X_i)\}$; ambos como parámetros de la función de distribución de los errores reducidos, $R(X_i)$, estacionarios si $Z(X_i)$ lo es.

La calidad del método de estimación se verifica tomando en cuenta dos condiciones de los errores reducidos (Delhomme, 1978): $mR \rightarrow 0$; $\sigma R = 1$. Posiblemente, Delhomme (1978) se basó en que, según Shao (1988) y Blume (1974), la función de distribución normal típica o estándar (considerando los $r(X_i)$ es definida por $mR = 0$ y $\sigma R = 1$. Sin embargo, el mejor estimador debe ser identificado por $\sigma R < 1$, preferentemente; así se garantiza una concentración de los $r(X_i)$ hacia la mR . Al respecto, Shao (1988) consignó no conforme la concentración es mayor, la σR es menor; entonces, el punto máximo o vértice, α , de la función de distribución es, también, mayor. De acuerdo a Blume (1974), el α para la función de distribución de los $r(X_i)$ es definido por la Ecuación 10.

$$\alpha = \frac{1}{\sigma R \sqrt{2\pi}} \quad (10)$$

donde: $\pi = 3.1415$

Por consiguiente, la función de distribución de los $r(X_i)$ con α mayor identifica al estimador de más calidad, porque los valores estimados tendrán más semejanza a los medidos;

en otras palabras, el error de estimación será menor.

Otra opción, aunque menos cuantitativa que la anterior, es considerar la relación entre los valores medidos y los estimados con su respectiva desviación de la línea de regresión.

El objetivo de la presente investigación fue definir los mejores procedimientos de interpolación kriging, a nivel puntual, reportados por Robertson (1987), considerando la variable lámina de agua (mm) del suelo superficial y el tiempo (días) como vector de desplazamiento.

MATERIALES Y METODOS

La fuente de los datos son los registros de humedad de suelo, correspondientes a la profundidad de 0-30 cm. De acuerdo al sistema de clasificación del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos de Norteamérica (USDA), el suelo es rhodustalf (Valdez-Cepeda y Rubio-Díaz, 1985) cultivado con duraznero en condiciones de temporal. Los muestreos se realizaron gravimétricamente cada semana durante 1984 a un metro del tronco de dos árboles de cinco años de edad. Los datos involucrados en el presente trabajo corresponden al promedio de dos observaciones realizadas en una parcela experimental de cuatro árboles en la condición de manejo de permitir el libre crecimiento de las malezas durante la etapa fenológica de formación del fruto del duraznero (Febrero a Mayo). El huerto está ubicado en Palmas Altas, Jerez, Zac., México. Los contenidos de humedad, en base al % de peso de suelo seco, se transformaron a lámina (mm) considerando la densidad aparente (1.56 g cm^{-3}) determinada mediante la técnica de cilindros metálicos.

Autocorrelación.

El semivariograma experimental ($p=0.05$) se definió utilizando los algoritmos computacionales escritos en Fortran, ejecutables en computadores personales

compatibles con MS-DOS, reportados por Robertson (1987).

El intervalo, h , de máxima separación fue de 120 días con la finalidad de calcular las $\tau(h)$ más estocásticas que determinísticas.

Kriging.

Las interpolaciones, a nivel puntual, se hicieron usando los algoritmos computacionales escritos en Fortran, ejecutables en computadores personales compatibles con MS-DOS, reportados por Robertson (1987). Los procedimientos involucrados se describieron en el apartado anterior: KPVM, KPER, KPJ y KPAD.

Definición de Vecindad.

Puesto que los datos fueron 31, espaciados la mayoría de ellos cada siete días, la definición de vecindad de primera aproximación consistió del total como número de vecinos y de un radio de acción de 200 días.

Error de Estimación.

La calidad de estimación de los procedimientos señalados se verificó con los errores reducidos y con la relación entre los valores medidos y los estimados. Para que la comparación entre los procedimientos fuera válida, solo se consideraron los valores estimados y los errores reducidos asociados a los valores medidos.

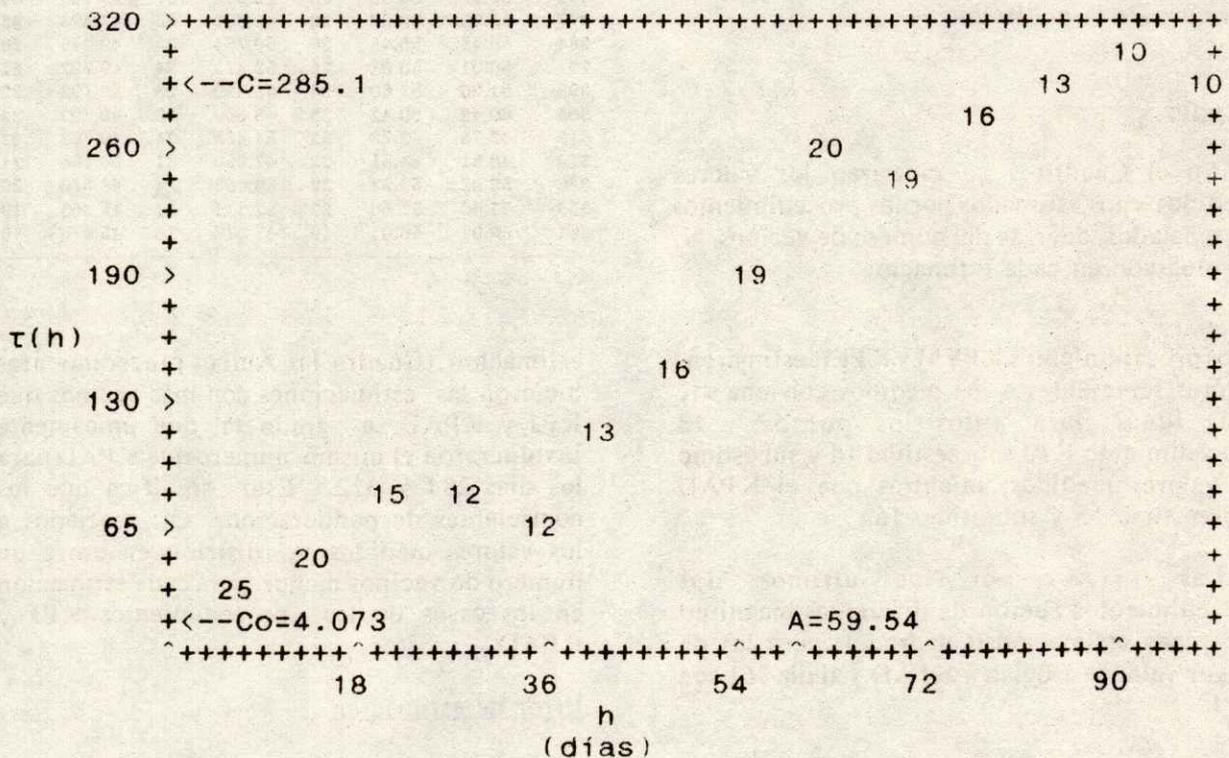


Figura 1. Semivariograma experimental para la variable lámina de agua (mm) en el suelo superficial. Los números que identifican los valores de $\tau(h)$ corresponden al número total de pares de datos o diferencias $N(h)$. Palmas Altas Jerez, Zac., Méx. 1984.

RESULTADOS Y DISCUSION

Autocorrelación.

En la Figura 1 se aprecia el semivariograma experimental. Considerando los modelos lineal, esférico y gaussiano con umbral, los parámetros adquirieron los valores siguientes: $C_0=4.073$; $C_1=281.027$; $C=285.1$; y $A=59.54$.

Para identificar la estructura total de la variación es necesario reducir la frecuencia de muestreo (<7 días); ello se debe a que es imprescindible reducir la C_0 , aunque ésta también considera el error de muestreo. En la Figura 1 se observa que la máxima autocorrelación es evidente entre puntos separados por intervalos <60 días. La correlación entre puntos distantes >60 días hasta intervalos ≈ 84 días disminuye progresivamente hasta que la suma de la varianza atribuible a la autocorrelación y la varianza nugget es aproximadamente igual a la varianza de la población.

Kriging.

En el Cuadro 1 se muestran los valores medidos y los estimados por los procedimientos ya señalados, además del número de vecinos, N , involucrado en cada estimación.

Los procedimientos KPVM y KPER estimaron valores semejantes a los medidos con una $\sigma_K(X_i)$ igual para todos los puntos. El procedimiento KPJ sobreestimó 14 y subestimó 17 valores medidos; mientras que el KPAD sobreestimó 15 y subestimó 16.

Las $\sigma(X_i)$ por los últimos dos procedimientos fueron de diferentes magnitud para cada estimación (Cuadro 2), pero las de mayor valor se asocian a KPAD y al día 361 con KPJ.

Definición de vecindad.

En general, KPVM y KPER utilizaron el mismo número de vecinos, N , para cada

Cuadro 1. Valores medidos, $Z(X_i)$, y estimados, $z(X_i)$, de la variable lámina de agua (mm) en el suelo superficial y número de vecinos (N) involucrado en cada estimación. Palmas Altas, Jerez, Zac., Méx. 1984.

Día	KPVM y KPER		KPJ		KPAD		
	$Z(X_i)$	$z(X_i)$	N	$z(X_i)$	N	$z(X_i)$	N
26	30.87	30.87	19	23.964	18	45.760	15
31	22.05	22.05	19	31.517	18	45.760	15
38	35.28	35.28	20	30.163	19	44.173	16
45	39.69	39.69	21	41.010	20	45.435	17
52	43.22	43.22	21	43.127	20	40.826	18
86	48.51	48.51	23	47.694	22	41.542	21
95	52.92	52.92	24	47.901	23	41.542	21
101	50.71	50.71	25	52.500	24	41.542	21
108	52.92	52.92	26	59.263	25	44.561	22
144	66.15	66.15	30	65.579	29	43.415	27
151	66.15	66.15	30	58.743	29	44.300	28
158	61.74	61.74	30	54.843	29	45.180	29
165	39.69	39.69	31	53.131	30	45.406	30
172	42.78	42.78	31	44.340	30	45.406	30
178	48.07	48.07	31	43.391	30	45.406	30
207	30.87	30.87	31	36.960	30	46.830	29
212	37.93	37.93	31	25.021	30	46.828	28
222	21.62	21.62	31	34.743	30	47.295	27
226	35.28	35.28	31	29.362	30	49.245	26
235	29.55	29.55	29	30.548	28	49.245	26
242	26.46	26.46	28	29.944	27	49.245	26
277	52.92	52.92	26	49.881	25	47.493	23
284	56.45	56.45	26	56.764	25	49.245	26
291	56.01	56.01	25	53.475	24	49.792	22
298	51.60	51.60	24	58.429	23	49.792	22
305	60.42	60.42	23	48.369	22	49.792	22
312	42.78	42.78	22	54.465	21	49.792	22
319	48.51	48.51	22	47.850	21	50.105	21
326	52.92	52.92	22	50.055	21	48.570	20
333	51.60	51.60	22	52.211	21	45.363	19
361	56.01	56.01	19	47.077	18	45.470	16

estimación (Cuadro 1). Ambos procedimientos hicieron las estimaciones con más vecinos que KPJ y KPAD, a grado tal que únicamente involucraron el mismo número que KPAD para los días 284 y 312. Esto significa que los coeficientes de ponderación, ϕ_i , asociados a los valores medidos se distribuyen entre un número de vecinos menor para cada estimación en los casos de los procedimientos KPJ y KPAD.

Error de estimación.

Las estimaciones realizadas con los procedimientos KPVM y KPER resultaron ser insesgadas (Cuadro 2), pues los errores reducidos, $r(X_i)$, siguen una función de

distribución normal con parámetros $mR=0$ y σR mínima; y cualquier posible desviación será sistemática, tanto para sobrestimaciones como para subestimaciones (Snedecor y Cochran, 1967). A éstos procedimientos corresponde el valor de α mayor (la unidad), lo cual significa que son los procedimientos cuyas estimaciones tienen más semejanza con los valores medidos, aún involucrando sus respectivas desviaciones.

A pesar de que los valores de los errores reducidos, $r(X_i)$, para KPj y KPAD ilustran

Cuadro 2. Desviaciones estándar, $\sigma k(X_i)$, y errores reducidos, $r(X_i)$, asociados a los valores estimados, $z(X_i)$, de la variable lámina de agua (mm) en el suelo superficial, Palmas Altas, Jerez, Zac., Méx. 1984.

Día	KPVM y KPER		KPJ		KPAD	
	$\sigma k(X_i)$	$r(X_i)$	$\sigma k(X_i)$	$r(X_i)$	$\sigma k(X_i)$	$r(X_i)$
26	2.018	0	6.5915	-1.048	19.163	0.777
31	2.018	0	5.5561	1.704	19.163	1.237
38	2.018	0	5.8144	-0.880	18.856	0.469
45	2.018	0	5.9309	0.222	18.818	0.305
52	2.018	0	7.3898	-0.012	18.754	-0.128
86	2.018	0	6.8092	-0.120	18.640	-0.374
95	2.018	0	5.6030	-0.896	18.640	-0.610
101	2.018	0	5.5236	0.324	18.640	-0.492
108	2.018	0	6.5205	0.978	18.436	0.453
144	2.018	0	6.6958	-0.085	18.300	1.242
151	2.018	0	5.6463	-1.312	18.275	-1.196
158	2.018	0	5.6630	-1.218	18.246	-0.907
165	2.018	0	5.5086	2.440	18.211	0.314
172	2.018	0	5.6891	0.274	18.211	0.144
178	2.018	0	6.7026	-0.698	18.211	-0.146
207	2.018	0	6.2545	0.974	18.155	0.879
212	2.018	0	5.5289	-2.335	18.178	0.489
222	2.018	0	5.3191	2.467	18.208	1.410
226	2.018	0	5.1062	-1.160	18.337	0.761
235	2.018	0	5.8668	0.170	18.337	1.074
242	2.018	0	6.9872	0.499	18.337	1.242
277	2.018	0	6.7989	-0.447	18.430	-0.294
284	2.018	0	5.7197	0.055	18.337	-0.393
291	2.018	0	5.9339	-0.427	18.640	-0.333
298	2.018	0	5.9123	1.155	18.640	-0.970
305	2.018	0	5.9313	-2.032	18.640	-0.570
312	2.018	0	6.0920	1.918	18.640	0.376
319	2.018	0	6.0920	-0.108	18.676	0.085
326	2.018	0	6.0920	-0.470	18.720	-0.232
333	2.018	0	7.1848	0.085	18.760	-0.332
361	2.018	0	13.8680	-0.644	19.154	-0.550
mR		0		-0.020		0.040
$\sigma^2 R$		0		1.313		0.510
a		1		0.348		0.558

que las estimaciones tienen un margen de desviación mayor ($\alpha = 0.348$ y $\alpha = 0.558$, respectivamente) que las realizadas con KPVM y KPER, su tendencia es a seguir una función de distribución normal, ya que la mayoría se encuentran dentro de ± 2 (la excepción son cuatro valores de $r(X_i)$ correspondientes al procedimiento KPJ para los días 165, 212, 222 y 305). Los valores de mR indican la tendencia de KPJ a subestimar y de KPAD a sobreestimar valores. Los valores de $\sigma^2 R$, al igual que los del α permiten asumir que KPJ es un estimador con un margen de error mayor.

Los parámetros de las regresiones lineales (Cuadro 3) entre los valores medidos, $Z(X_i)$, y los estimados, $z(X_i)$, muestran que los mejores procedimientos son KPVM y KPER. El procedimiento KPJ puede considerarse de buena calidad, pero KPAD no, pues el coeficiente de determinación, R^2 , es muy bajo y la pendiente de la recta negativa.

Cuadro 3. Valores de los parámetros de la regresión lineal $y=a+bx$ entre los valores medidos y los estimados para la variable lámina de agua (mm), correspondientes a los procedimientos de interpolación: KPVM, KPER, KPJ y KPAD. Palmas Altas, Jerez, Zac., Méx. 1984.

Procedimiento	a	b	R^2
KPVM	0.000	+1.000	1.000
KPER	0.000	+1.000	1.000
KPJ	10.584	+0.760	0.698
KPAD	47.827	-0.034	0.023

Considerando ambas pruebas, se evidencia que las $\sigma k(X_i)$ están asociadas a las estimaciones del procedimiento KPAD que lo hace ser un interpolador o estimador con margen de error menor que KPJ, pero mayor que KPVM y KPER; además KPAD es el estimador más sesgado, pues su mR difiere más de cero.

CONCLUSIONES

La autocorrelación más fuerte entre los datos de humedad en el suelo (mm) se presenta a intervalos menores a 60 días.

Los procedimientos de interpolación, del método kriging, para puntos donde la variable fue medida que involucra el valor medido en la estimación (KPVM) y para puntos espaciados regularmente, hayan sido medidos o no, (KPER) realizan estimaciones insesgadas con desviaciones pequeñas.

El procedimiento para puntos espaciados regularmente, hayan sido medidos o no (KPER), permite generar valores insesgados, hace posible reducir la frecuencia de muestreo y, en consecuencia, abatir los costos de análisis y de operación de las actividades de investigación que requieran el registro del agua en el suelo.

LITERATURA CITADA

- BLUME, J.** 1974. Métodos estadísticos para ingenieros. Edit. Labor, S.A. Barcelona, España. 138 p.
- BURGUESS, T.M. and R. WEBSTER.** 1980. Optimal interpolation and isarithmic mapping of soils properties. I: The semivariogram and punctual kriging. *J. Soil Sci.* 31: 315-331.
- DELHOMME, J.P.** 1978. Kriging in the hydrosciences. *Adv. Water Res.* 1: 251-266.
- JOURNEL, A.G. and C.J. HUIJBREGTS.** 1978. *Mining Geostatistics.* Academic Press. London, England. 600 p.
- ROBERTSON, G.P.** 1987. Geostatistics in ecology: Interpolating with known variance. *Ecology* 68(3): 744-748.
- SHAO, S.P.** 1988. Estadística para economistas y administradores de empresas. Edit. Herrero Hnos., Sucs., S.A. México, D.F. 786 p.
- SNEDECOR, G.W. and W.G. COCHRAN.** 1967. *Statistical methods.* 6th Ed. Iowa State Univ. Press. Ames, IA, USA. 593 p.
- VALDEZ-CEPEDA, R.D. y S. RUBIO-DIAZ.** 1985. Clasificación del suelo cultivado con duraznero en condiciones de temporal. Resúmenes analíticos de Investigación. SARH-INIFAP-CIANOC-CAEZAC.
- VIEIRA, S.R., J.L. HATFIELD, D.R. NIELSEN and J.W. BIGGAR.** 1983. Geostatistical theory and application to variability of some agronomical properties. *Hilgardia* 51(3): 1-75.

ANÁLISIS FOLIAR DE SEIS CULTIVARES DE VID EN LA COMARCA LAGUNERA

Foliar Analysis of Six Grape Cultivars in the Comarca Lagunera

Raúl Mancilla y Díaz Infante

INIFAP-CIFAP-Comarca Lagunera,
Apartado postal 247, Torreón, Coah.

Palabras clave: Fertilización, N, NO_3^- , P, K, Mg, B, Época de muestreo, Nutrición mineral, Comportamiento de la vid.

Index words: Fertilization, N, NO_3^- , P, K, Mg, B, Sampling period, Mineral nutrition, Grapevine behavior.

RESUMEN

Se evaluó la respuesta de seis cultivares de vid a la fertilización con cinco elementos, para definir sus niveles críticos en condiciones de campo, por medio de la técnica de análisis foliar, y establecer la correlación de las concentraciones de nutrimentos en los tejidos vegetales con el comportamiento de las parras.

Los datos preliminares de tres años de evaluación muestran que los tratamientos de fertilización no han afectado significativamente la concentración de nutrimentos en las plantas, o el comportamiento de las parras. Estos resultados difieren de lo comúnmente reportado para otras zonas vitícolas, en cuanto a la

concentración de nutrimentos en los pecíolos en floración y durante el envero, la cual varió dependiendo del cultivar y del elemento en la forma siguiente: a) El N-NO_3^- mostró un incremento en el envero de 10 a 75%, alcanzando niveles que se pueden considerar en exceso; b) la concentración de fósforo (P) se redujo desde 50 y hasta 70% y los niveles alcanzados en el envero estuvieron abajo de los reportados como adecuados; c) para el magnesio (Mg) se observó una disminución que varió de 20 hasta 38% y el 50% de los cultivares presentaron niveles reportados como deficientes en las dos épocas de muestreo; d) los niveles de potasio (K) se incrementaron de 15 a 64%, la concentración en los pecíolos, tanto en floración como envero fue excesiva.

SUMMARY

The response of six grapevine cultivars to fertilization with five elements was evaluated and foliar critical levels under field conditions determined. The nutrient levels in the tissues were related to the behavior of the grapevines. Preliminary data from three years of evaluation show the fertilizer treatments not being significantly affected by nutrient concentration in the tissues or grapevine behavior. These results differ from

Recibido 6-90.

others reported for other viticultural zones. The concentration of nutrients in the petioles at bloom time and during veraison changed depending on cultivar and the element in this way: a) The $N-NO_2^-$ had an increase of 10 to 75% during veraison, and the reached levels were those reported as in excess; b) the P concentration decreased between 50 and 70%, and the concentration in veraison was below of those reported as adequated; c) the Mg decrease was between 20 and 38%, and 50% of the studied cultivars showed at the two sampling periods levels which are reported as deficient; d) the K levels increased 15 to 64%, and the concentration in both sampling periods was in excess.

INTRODUCCION

La fertilización en la Comarca Lagunera, al igual que las demás áreas vitícolas del país, se lleva a cabo en forma empírica, encontrándose situaciones que van desde viñedos que no han sido fertilizados, hasta aquellos que tienen exceso de nutrimentos en el suelo. Sobre este aspecto existe poca información producto de la experimentación regional, que dé las bases o sirva de guía para una fertilización adecuada, que mantenga altos niveles de productividad en las plantaciones de vid. Estos antecedentes dan soporte al objetivo de este proyecto, que es el de definir los niveles críticos de algunos nutrimentos bajo condiciones de campo, para correlacionarlos con características de la planta.

Entre los esfuerzos que se han realizado para estudiar el problema de nutrición de la vid, se cuentan la determinación de los niveles críticos de los elementos esenciales en diferentes tejidos de las plantas (Atalay, 1978; Conradie, 1981; Kliewer y Cook, 1974), las diferencias en concentración de los nutrimentos entre cultivares y la influencia de los portainjertos (Christensen, 1984; Cook y Lider, 1964), así como la época de muestreo (Christensen, 1984; Conradie, 1981) y la época

de absorción, almacenamiento y utilización de los elementos que se encuentran en el suelo (Peacock *et al.*, 1989; Conradie, 1980, 1981, 1986).

Para California se estableció que el peciolo es un tejido conveniente para diagnosticar el estado nutricional de la vid, por permitir manejar un gran número de ellos con poco esfuerzo, además de tener una muestra representativa del viñedo (Christensen *et al.*, 1978; Cook and Wheeler, 1983); que la época más adecuada para muestrear es la floración y los peciolo que deben seleccionarse son los de las hojas opuestas a los racimos. Esta metodología indica Winkler *et al.* (1974), es la utilizada en el laboratorio de la Universidad de California, Davis y se ha generalizado en ese estado. Sin embargo, en otras zonas vitícolas como las de Africa del Sur, muestrean en el envero y utilizan la lámina de la hoja para sus diagnósticos (Conradie y Saayman, 1989). Ninguna de estas metodologías es utilizada en forma sistemática en México.

La relación de concentración de los elementos en los diferentes tejidos, o bien de dos o más elementos en el mismo tejido, es una herramienta que se utiliza para la definición de algunos problemas nutricionales en la vid, como es el caso registrado para el P por Atalay (1978) y Cook (1966), en el cual, la concentración de fósforo en el peciolo es más alta que la encontrada en la lámina de la hoja, cuando el viñedo está en un suelo rico en este elemento, pero cuando es bajo, la lámina presenta la mayor concentración; sin embargo, Conradie y Saayman (1989) mencionan, que bajo condiciones mediterráneas como son las del Cabo Oeste, en Africa del Sur, parece ser normal que la concentración de P en la lámina sea mayor, ya que los niveles de P que se tenían en el suelo, hacen improbable la deficiencia de este elemento.

MATERIALES Y METODOS

El proyecto involucra el estudio de cinco elementos (N, P, K, Mg y B) que se aplican

comunmente como fertilizantes y seis cultivares de vid. Los cultivares fueron plantados en el CIFAP-Comarca Lagunera en 1968 y en 1969, con material libre de enfermedades virosas. El criterio seguido para la selección de los elementos en estudio, fue la detección de niveles bajos de estos elementos en los lotes destinados a la multiplicación de material, mediante un muestreo llevado a cabo en el envero de 1985.

Para la interpretación del análisis de los peciolo se tomaron como referencia los rangos establecidos en California para las hojas opuestas al racimo durante la floración y el envero (Cook y Wheeler, 1983; Christensen *et al.*, 1978; Christensen, 1984), así como la presencia, en algunos casos de síntomas visuales de alteraciones nutrimentales. La descripción de los experimentos que integran este proyecto iniciado en 1982 se presenta en el Cuadro 1.

De las hojas muestreadas de 1986 a 1988, tanto en floración como en envero (15-20 por unidad experimental de un total de 15 experimentos), fueron separados el peciolo de la lámina y secados a 60°C, siguiendo el proceso de análisis foliar establecido por el laboratorio del Centro Nacional de Investigación Disciplinaria en Gómez Palacio, Dgo.

La última fertilización que se realizó en los lotes experimentales fue a través de la aplicación de estiércol en 1982, cuatro años antes del inicio de estos trabajos.

RESULTADOS Y DISCUSION

La información de tres años aún no permite establecer los niveles críticos de los elementos en estudio, ya que no se han detectado diferencias significativas en las

Cuadro 1. Descripción de los experimentos sobre nutrición de la vid, CIFAP-Comarca Lagunera (1986-1988).

Cultivar estudiado	Tratamiento	Diseño	No. Repetición	No. Plantas/ Unidad Exp.
Carignan (69)	N (0,60,120,180 kg/ha)	Reg.	1	12
	1) P ₂ O ₅ (0,200,400,600 kg/ha)	Bl.Az.	3	4
Grenache (68)	1) P ₂ O ₅ (0,300,600 kg/ha)	Bl.Az.	4	6
	2) Mg (0,1,2, aspersiones)	Reg.	1	12
Malaga roja (69)	1) P ₂ O ₅ (0,200,400,600 kg/ha)	Bl.Az.	3	4
Queen (68)	1) P ₂ O ₅ (0,300,600 kg/ha)	Bl.Az.	4	6
	2) Mg (0,1,2 aspersiones)	Reg.	1	12
Palomino (69)	N (0,60,120,180 kg/ha)	Bl.Az.	3	6
	1) P ₂ O ₅ (0,200,400,600 kg/ha)	Bl.Az.	3	6
Thompson Seedless (68)	2) Mg (0,1,2 aspersiones)	Bl.Az.	3	4
	2) Mg (0,1,2 aspersiones)	Bl.Az.	3	4
Carignan (78)	B (0,10,20,30 kg.Ac.Bor/ha)	Bl.Az.	2	4
	B (0,10,20,30 kg Ac.Bor/ha)	Bl.Az.	4	4
Malaga Roja (El zorro)	B (0,13.2,26.4,39.6 kg Borax/ha)	Cuad.Lat.	4	3
	K (0,3 kg KNO ₃ , 3 kg K ₂ SO ₄ por posición de 2 plantas)	Comp. al Azar	Variable	2

1) En 1986 se fertilizó con la mitad de lo indicado.

2) Aspersiones con solución de Sulfato de Magnesio al 2%. A partir de 1988 se dio una más de las aspersiones indicadas.

características de: planta, producción y concentración de elementos en los tejidos analizados. Sin embargo, la información obtenida ha permitido seleccionar algunos puntos que son interesantes en la nutrición de la vid para la Comarca Lagunera, y que se refieren a la concentración de nutrimentos detectados en los tejidos, que difieren en algunos casos, a lo citado normalmente en la literatura.

El Cuadro 2, presenta la concentración promedio de algunos nutrimentos en los tejidos de la vid, obtenidos en dos épocas de muestreo, para los diferentes cultivares de los lotes experimentales descritos en el Cuadro 1. Al comparar las concentraciones que se reportan en otras zonas vitícolas, donde se tienen definidos los niveles críticos, con los obtenidos en el presente trabajo, cabe resaltar los siguientes puntos:

a) Los cultivares presentan diferencias para acumular los nutrimentos en sus tejidos, aun cuando estos se encuentran creciendo en lotes contiguos y su manejo haya sido similar. Estos resultados están acordes a

lo citado por Christensen (1984), en su estudio de acumulación de nutrimentos en 26 cultivares de vid.

b) La concentración de nitrógeno-nítrico ($N-NO_3^-$), comparada con la indicada para viñedos de California por Christensen *et al.* (1978) es muy elevada, alcanzando niveles en el envero que pueden considerarse tóxicos por estar arriba de 3,000 ppm. Estos investigadores mencionan, que la concentración de $N-NO_3^-$ alcanza niveles bajos y estables 2 a 3 semanas después de floración. No obstante, en este estudio se observa que la concentración de $N-NO_3^-$ en el envero en lugar de declinar se incrementa substancialmente en algunos casos. La información de 1987 muestra que los niveles de nitrógeno total encontrados, están por arriba de los reportados por Conradie y Saayman (1989) para plantas de 'Chenin blanc', en Africa del Sur; pero son inferiores a lo consignado, tanto por Christensen (1984), como por Conradie (1981) para el mismo cultivar. Sin embargo, el efecto de los niveles altos de $N-NO_3^-$ no corresponde al comportamiento

Cuadro 2. Concentración promedio de nutrimentos en peciolo de diferentes cultivares de vid. CIFAP-Comarca Lagunera. 1986-1988.

Cultivar	$N-NO_3^-$	$N-NO_3^-$	% P	% P	% K	% K	% Mg	% Mg	Env.	% N Total
	Flor. (ppm)	Env. (ppm)	Flor.	Env.	Flor.	Env.	Flor.	Env.	%K/%Mg	envero (1987)
Carignan (N) (86 y 88)	1890	2541	0.162	0.072	3.32	3.19	0.34	0.27	11.8	0.69
Malaga Roja (P)	2300	3712	0.229	0.068	2.89	3.82	0.33	0.33	11.6	0.74
Grenache (P)	3925	6260	0.270	0.133	2.83	4.63	0.47	0.29	16.0	0.86
Queen (P)	3037	5303	0.453	0.157	2.94	4.49	0.17	0.12	37.4	0.94
Palomino (P)	3047	3338	0.253	0.114	3.73	4.94	0.29	0.20	24.7	0.73
Thompson Seedless (Mg)	2901	3214	0.273	0.103	3.50	4.01	0.21	0.14	28.6	0.87
Christensen <i>et al.</i> (1978)	500-1200		>0.15	>0.12	>1.5		>0.3			
Levy deficiencia Mg ¹⁾								<0.20	10	
Gärtel deficiencia Mg ¹⁾								<0.10	15	
Christensen (1984)										0.8-1.1

1) Ver Rivereau-Gayon y Peynaud (1971).

que presentan las plantaciones, ya que su vigor no es excesivo. Estos resultados sugieren que puede existir un problema metabólico, en el que puede estar jugando un papel importante la actividad de la enzima nitrato reductasa, responsable de la conversión de nitratos a aminoácidos, los cuales darían origen a otros compuestos proteínicos (Christensen, *et al.*, 1978; Pérez y Kliever, 1982). La consecuente acumulación de NO_3^- probablemente está causando un desbalance en las plantas, problema que deberá estudiarse.

c) Los niveles de P en floración se encuentran arriba de los niveles críticos de deficiencia establecidos para vid en California (Cook y Wheeler, 1983; Christensen *et al.*, 1978). Al llegar el envero, la mayor parte de los cultivares mostraron concentraciones abajo de los niveles considerados como adecuados, situación contraria a lo mencionado por Christensen (1984), quien encontró que la concentración de este nutrimento se mantiene similar en las dos épocas de muestreo. En términos generales la relación %P-peciolo/%P-lámina en floración, fue el doble de la relación encontrada durante el envero, presentando este último muestreo valores entre 0.23 y 0.70 (Cuadro 3). Estas relaciones sugieren la posibilidad de un baja en el abastecimiento de este elemento en el suelo conforme avanza el ciclo, comportamiento que concuerda con lo señalado para suelos pobres en P por Atalay (1978) y Cook (1966), ya que el análisis de los lotes experimentales reportaron de niveles bajos a medios en este elemento.

d) El Mg en las viñas muestreadas es otro de los elementos cuya concentración difiere de la reportada para otras zonas vitícolas. Cook y Wheeler (1983), así como Conradie (1981), indican que conforme avanza el ciclo de la vid, la concentración de Mg en los peciolo se incrementa. Sin embargo, con excepción del cultivar Málaga Roja que fue similar, los demás cultivares redujeron su concentración de 20 a 38% de Mg entre la floración y el envero. El 50% de los cultivares presentaron en la floración niveles por abajo de los considerados como deficientes por Cook y Wheeler (1983) y Christensen *et al.* (1978).

La relación de K y Mg en el mismo tejido ha sido la estrategia utilizada por investigadores europeos para definir la posible deficiencia de estos elementos en un viñedo. Levy, citado por Rivereau-Gayon y Peynaud (1971), estableció que la deficiencia de Mg se presenta cuando la relación K/Mg es de 10 y la concentración de Mg menor a 0.20%. Al comparar esta información con los valores encontrados en el envero, se deduce la posibilidad de deficiencia de Mg en el 50% de los cultivares.

e) Los niveles de K encontrados, tanto en floración como en el envero, son más altos que los establecidos en otras zonas vitícolas del mundo (Therblanche y Vanniekerk, 1976; Cook y Wheeler, 1983); lo cual sugiere la posibilidad de una deficiencia de Mg inducida por exceso de K (Mancilla, 1973). Contrario a lo citado en la literatura (Cook y Kishaba, 1956; Christensen *et al.*, 1978; Conradie, 1981), la concentración de K en los peciolo se

Cuadro 3. Concentración promedio de fósforo en dos épocas de muestreo de cinco cultivares de vid. CIFAP-Comarca Lagunera. 1988.

Cultivar	Floración		Envero		Floración % P-peciolo/ % P-lámina	Envero % P-peciolo/ % P-lámina
	% P Peciolo	% P Lámina	% P Peciolo	% P Lámina		
Carignan	0.155	0.197	0.077	0.190	0.79	0.40
Malaga Roja	0.182	0.228	0.044	0.192	0.80	0.23
Queen	0.440	0.298	0.158	0.225	1.48	0.70
Palomino	0.314	0.252	0.129	0.240	1.25	0.54
Grenache	0.255	0.239	0.135	0.218	1.07	0.62

incrementó substancialmente entre la floración y el envero en los cultivares estudiados, con excepción de Carignan, alcanzando este incremento valores desde 0.51 hasta 1.8% de K.

- f) Al igual que lo citado por Christensen (1984), existieron variaciones considerables en la concentración de los nutrimentos a través de los años estudiados. Dependiendo del elemento y del cultivar, en algunos casos las variaciones alcanzaron el 50% de un año a otro. Esta situación deberá considerarse en futuros estudios de nutrición o al emitir un diagnóstico con base en información de un solo año.

Los resultados a la fecha no han mostrado diferencias significativas por efecto de los tratamientos al analizarse anualmente. Sólo en algunos casos se empiezan a mostrar tendencias de acumulación en los peciolo del nutrimento aplicado, como lo revelan los muestreos llevados a cabo en el envero para las aplicaciones de N y en la floración para el caso del P y B. El Mg y el K no han mostrado aún tendencias claras.

Los efectos de la fertilización sobre el comportamiento de la planta en terminos de kilos de uva, racimos por planta, peso medio del racimo, grados Brix, madera podada y peso medio de las cañas, no se presentan claros. Esta situación está acorde con lo mencionado en experimentos similares para otras zonas vitícolas, como Africa del Sur (Conradie y Saayman, 1989), Australia (Robinson, 1978) y la India (Wasnik *et al.*, 1978).

CONCLUSIONES

1. Al final de tres ciclos de evaluación, los diferentes tratamientos no han afectado significativamente la concentración de nutrimentos en los tejidos analizados, existiendo solamente tendencias poco claras en los casos de N, P y B, y menos claras para Mg y K.
2. La precisión de los rangos críticos como la relación de nutrimentos en un mismo tejido, pueden variar para los diferentes cultivares y épocas de muestreo, a través de los años. Esto hace suponer que los niveles obtenidos pueden variar en otras localidades y en otras condiciones de crecimiento de los viñedos, resaltando la necesidad de buscar los niveles críticos para cada cultivar y en las diferentes áreas vitícolas.
3. Las variables: kilos de uva, racimos por planta, peso medio del racimo, grados Brix, madera podada y peso medio de las cañas, no presentan efectos claros para los diferentes niveles de fertilización.
4. La información obtenida, no está acorde con lo reportado para otras zonas vitícolas del mundo, lo que abre interesantes perspectivas para futuras investigaciones.
5. Ante los resultados encontrados, estos experimentos deben continuar, buscando encontrar en años posteriores criterios cuantitativos que prueben ser una guía para el adecuado diagnóstico nutricional de los cultivares de vid más importantes en la Comarca Lagunera.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece la participación del Lic. Saúl Flores A. en la edición de este trabajo.

LITERATURA CITADA

- ATALAY, I.Z. 1978. The petiole and leaf blade relationships for the determination of phosphorus and zinc status of vineyards. *Vitis* 17: 147-151.
- CHRISTENSEN, L.P. 1984. Nutrient level comparisons of leaf petioles and blades in twenty six grape cultivars over three years (1979 through 1981). *Am. J. Enol. Vit.* 35(3): 124-133.

CHRISTENSEN, L.P., A.N. KASIMATIS y F.L. JENSEN. 1978. Grapevine nutrition and fertilization in the San Joaquin Valley. Agr. Sci. Pub., Div. Agr. Sci. Univ. of Calif. Pub. 4087: 40 pp.

CONRADIE, W.J. 1980. Seasonal uptake of nutrients by Chenin blanc in sand culture. I. Nitrogen. S. Afr. J. Enol. Vitic. 1(1) 59-65.

CONRADIE, W.J. 1981. Nutritional consumption by Chenin blanc grown in sand culture and seasonal changes in the chemical composition of leaf and petioles. S. Afr. J. Enol. Vitic. 2(1): 15-18.

CONRADIE, W.J. 1986. Utilization of nitrogen by the grapevine as affected by time of application and soil type. S. Afr. J. Enol. Vitic. 7(2): 76-83.

CONRADIE, W.J. and D. SAAYMAN. 1989. Effect of long-term nitrogen phosphorus, and potassium fertilization on Chenin blanc vines. II. Leaf analysis and grape composition. Am. J. Enol. Vit. 40(2): 91-98.

COOK, J.A. 1966. Grape nutrition, p. 777-812. En: Childers, N.F. (Ed.): Nutrition of fruit crops. Horticultural Publications. Rutgers Univ. New Brunswick, N.Y.

COOK, J.A. y L.A. LIDER. 1964. Mineral composition of bloomtime grape petiole in relation to rootstock and scion cultivar behavior. Proc. Amer. Soc. Hort. Sci. 84: 243-254.

COOK, J.A. y T. KISHABA. 1956. Using leaf symptoms and foliar analysis to diagnose fertilizer needs in California vineyards. En: Analyse des Plantes et Problèmes des Fumures Minérales. I.R.H.O. Service Agronomique, II Sq. Petrarque, 11, Paris. p. 158-174.

COOK, J.A. y D.W. WHEELER. 1983. Use of tissue analysis in viticulture. Div. of Agr. Sci., Univ. of Calif. Bull. 1879: 18-19.

KLIEWER, W.M. y J.A. COOK. 1974. Arginine levels in grape cane and fruits as indicators of nitrogen status of vineyards. Am. J. Enol. Vit. 25(2): 111-118.

MANCILLA, R. 1973. Visual symptoms and nutritional balance of grapevines as affected by interactions of potassium, magnesium and sodium. Univ. of Calif. (Davis). Ph. D. thesis.

PEACOCK, W.L., L.P. CHRISTENSEN y F.E. BROADBENT. 1989. Uptake, storage, and utilization of soil-applied nitrogen by Thompson seedless as affected by time of application. Am. J. Enol. Vitic. 40(1): 16-20.

PEREZ, J.R. y W.M. KLIEWER. 1982. Influence of light regime and nitrate fertilization on nitrate reductase activity and concentration of nitrate and arginine in tissues of three cultivars of grapevines. Am. J. Enol. Vitic. 33(2): 86-96.

RIVIEREAU-GAYON y E. PEYNAUD. 1971. Traité d'ampelologie. Science et techniques de la vigne. Tome I. Dunod-Paris. p. 628.

ROBINSON, J.B. 1978. Fertilizer for vines in Australia-The questions. Abstracts XX Int. Hort. Cong. Sidney, Australia. #1360.

TERBLANCHE, J.H. y P.E. LER VANNIEKERK. 1976. Soil preparation and fertilization for table grape vines. The Dec. Fruit Grower. 26(7): 282-290.

WASNIK, H.M., T.R. SUBRAMANIAN, B.S. BHARGAVA, A.G. PUROHITAND y S.D. SHIKAMANY. 1978. Petiole N, P, K, content and physico-chemical characteristics of soil as influenced by varying levels of N, P, K application in grapes. Abstracts XX Int. Hort. Cong. Sidney, Australia. #1363.

WINKER, A.J., J.A. COOK, W.M. KLIEWER y L.A. LIDER. 1974. General Viticulture. University of California Press, Berkeley, California. 710 pp.

RESPUESTA DE LA ALFALFA A DIFERENTES CONTENIDOS DE HUMEDAD DEL SUELO

Response of the Alfalfa to Different Soil Water Contents

Marco A. Inzunza I.

CENID-RASPA-INIFAP, Apartado Postal No. 41, Cd. Lerdo, Dgo.

Palabras clave: Requerimientos hídricos, Rendimiento, Régimen de humedad, Número de riegos, Déficit evapotranspirativos, Eficiencia en el uso del agua.

Index Words: Water requirement, Soil water stress, Maximum evapotranspiration, Dry matter, Irrigation schedule, Water use efficiency.

RESUMEN

En el campo experimental del Centro Nacional de Investigación Disciplinaria en Relación-Agua-Suelo-Planta-Atmósfera en Gómez Palacio, Dgo., se realizó un trabajo de alfalfa, con los objetivos de determinar los requerimientos hídricos de la alfalfa tanto en su consumo como en su oportunidad y de obtener la relación existente entre el rendimiento y el régimen de humedad del suelo. La metodología consistió en propiciar diferentes contenidos de humedad en el suelo en base a aplicaciones diferentes de riego y déficit evapotranspirativo entre cortes del cultivo.

Los resultados generados del primer año productivo indican que el régimen de humedad

óptimo para maximizar la producción de materia verde y seca es que se desarrolle a 5.7 atm de tensión en el perfil de 1.20 m de suelo y que el cultivo evapotranspire 155 cm anuales de agua. La alfalfa no presentó diferencias significativas a la aplicación de 1 a 4 riegos entre cortes. Cuando el cultivo se desarrolla bajo las condiciones hídricas citadas logra una eficiencia en el uso del agua de 6.5 kg Ms/m³ significativamente más alto que las 2.4 kg Ms/m³ logrados con el manejo hídrico actual.

SUMMARY

This research was carried out in the experimental station of the Centro Nacional de Investigación Disciplinaria en Relación-Agua-Suelo-Planta-Atmósfera in Gómez Palacio, Dgo.

The objectives were: to determine how much and when the Alfalfa Crop has to be irrigated. The method consisted in applying various Irrigation schedules and various water irrigation amounts. Different percents of the Maximum evapotranspiration of the alfalfa between one irrigation and another were fixed. According to the results of the first year, the crop reached its maximum production of dry matter when it was irrigated at a soil water

Recibido 11-90.

stress of 5.7 atm and when it evapotranspires 155 cm of water. The crop did not show a significant difference ($\alpha = 0.05\%$) in its production from one to four irrigation supplies per each alfalfa cutting period. Irrigating alfalfa with the above mentioned soil water stress let to increase the water use efficiency to 6.4 kg Ms/m³ of dry matter, which is 4.0 kg Ms/m³ greater than the traditional one.

INTRODUCCION

La alfalfa es uno de los forrajes más importantes en la producción pecuaria nacional. Esto se refleja en incrementos significativos en la superficie sembrada con este cultivo, que en la actualidad oscila en un rango de 240 a 300 mil ha y una producción de 17.5 a 21.0 millones de toneladas de forraje verde (Econotenia Agrícola, 1983). En la Comarca Lagunera es el segundo cultivo de importancia por la superficie destinada a su explotación y por ser el pilar más significativo en el sostenimiento de la cuenca lechera regional de aproximadamente 155 mil cabezas de ganado bovino. Además, presenta ventajas con respecto a otros cultivos forrajeros como son: altas cualidades nutricionales (19.5% de proteína cruda), disponibilidad de forraje fresco todo el año, y es ideal para realizar rotaciones de cultivo. En 1987 se explotaron 21.5 miles de ha, de las cuales aproximadamente un 85% se riega con agua de bombeo y el resto con agua derivada de la presa (SARH, 1989).

La principal limitante de la producción agrícola en la Comarca Lagunera es el agua de riego, recurso que se ha venido agotando debido a las altas tasas de extracción y a la insuficiente recarga natural del manto acuifero. De acuerdo a estadísticas regionales, en la producción de alfalfa se aplican láminas de alrededor de 250 cm de agua anuales, con una producción media de 70-75 ton ha⁻¹ de forraje verde. Investigaciones preliminares indican que las necesidades hídricas de este cultivo son de 160 cm de lámina de agua anual, con rendimientos medios

de 120 ton ha⁻¹ de forraje verde. Esto representa una extracción adicional de 240 millones de m³ de agua en la superficie destinada al cultivo. La eficiencia de producción regional es de 0.84 kg de forraje seco por m³ de agua aplicada, mientras que los resultados de investigación muestran un potencial de 1.75 kg de materia seca por m³ de agua aplicada. Esta diferencia es debida a técnicas deficientes en el manejo de agua de riego. De acuerdo a esta problemática este trabajo contempla los siguientes objetivos:

- Determinar los requerimientos hídricos de la alfalfa, tanto en su consumo como en su oportunidad.
- Obtener el modelo de respuesta que mejor represente la relación entre el rendimiento y el régimen de humedad del suelo.

MATERIALES Y METODOS

Este trabajo se realizó en el campo experimental del CENID-RASPA, ubicado en Gómez Palacio, Dgo., localizado entre los meridianos 101°40' de longitud oeste y los paralelos 24°05' y 26°54' de latitud norte con una altura que varía de 1100 a 1140 msnm. El clima es seco, desértico caliente con temperatura media anual de 21.1°C, precipitación media anual de 230 mm, periodos libres de heladas de abril a octubre y pueden presentarse granizadas durante mayo. El suelo del lote experimental pertenece a la serie Coyote de gran representatividad regional por la superficie que domina y son en general suelos profundos texturas franco arcillosa.

Ecuaciones de Tensión de Humedad del Suelo.

Para su obtención se utilizó la olla y la membrana de presión, los datos fueron ajustados al modelo potencial. En el Cuadro 1 se presentan las ecuaciones generadas.

La metodología consistió en propiciar diferentes déficit hídricos en el suelo, con el fin de analizar el comportamiento de la

alfalfa a variaciones del régimen de humedad en el suelo, incluyendo los extremos del rango de humedad para lograr una mayor universalización del estudio, (Abdul Jabbar *et al.*, 1985).

Cuadro 1. Ecuaciones de la relación entre tensión (atm) y humedad del suelo (%).

Estrato	Ecuaciones	r
(cm)		
0 - 30	$T = 295656811.6 P_s^{-6.104}$	0.99
30 - 60	$T = 60154058.9 P_s^{-5.56}$	0.99
60 - 90	$T = 97333071.9 P_s^{-5.68}$	0.99

Factores y Niveles Bajo Estudio. Los factores en estudio consistieron en la aplicación de diferentes números de riegos por corte y déficit evapotranspirativos de la alfalfa. Los niveles para el primer factor fueron 1/0, 1, 2, 3 y 4 riegos entre cortes. Para el segundo factor se ensayaron los niveles 1, 0.75 y 0.5 de la evapotranspiración máxima del cultivo. La programación de los riegos en su oportunidad se realizó de acuerdo al concepto de unidades calor, con el fin de contar con un parámetro que uniformice los eventos fenológicos del cultivo durante el año (Benz *et al.*, 1985).

Tratamientos Bajo Estudio. Los tratamientos ensayados en campo correspondieron a los resultantes del factorial combinatorio 4x3. Además de las 15 combinaciones resultantes (Cuadro 2) fue adicionado otro, el cual se sometió a 0.5 atm entre cortes con el fin de mantener condiciones no restrictivas de humedad en el desarrollo de la alfalfa y determinar de esta manera la evapotranspiración máxima para este cultivo (Inzunza, 1989).

Determinación del Régimen de Humedad del Suelo. Para determinar la dinámica de la

Cuadro 2. Tratamientos resultantes.

Riegos ¹⁾ por corte	déficit evapotranspirativos
4	1
4	0.75
4	0.5
3	1
3	0.75
3	0.5
2	1
2	0.75
2	0.5
1	1
1	0.75
1	0.5
1/0	1
1/0	0.75
1/0	0.5

1) donde la combinación 4-0.5 significaría 4 riegos por corte y con la aplicación del 0.5 de la evapotranspiración máxima de la alfalfa.

humedad del suelo para cada tratamiento, se realizaron muestras continuas de humedad con un aspersor de neutrones marca Troxler modelo 3222. La representación del régimen de humedad se realizó en base a la metodología de Fereres *et al.* (1978), donde:

$$T_p = \sum_{i=1}^n T_i * \frac{L_{ci}}{L_{c_T}} \dots \dots \dots (1)$$

donde:

T_p = potencial mátrico ponderado en el perfil del suelo explorado por las raíces (atm)

T_i = potencial mátrico en el estrato i (atm)

L_{ci} = lámina consumida en el estrato i

L_{c_T} = lámina consumida total en el perfil de suelo explorado por las raíces.

n = número de estratos donde existe consumo de agua.

Datos de Cultivo. Se utilizó la variedad Moapa con una densidad de 35 kg/ha, se sembró

el 5 de enero de 1987. Para la fertilización se utilizó la fórmula 0-240-0.

RESULTADOS Y DISCUSION

Los datos obtenidos de rendimiento de forraje verde total en el primer año productivo se presenta en el Cuadro 3 además de la prueba de comparación de medias. Al analizar este Cuadro, la Figura 1 y los resultados del análisis de varianza, los tratamientos presentaron diferencias altamente significativas, esto permite concluir que los diferentes déficit hídricos del suelo tienen un efecto diferencial sobre el rendimiento total de forraje verde.

Cuadro 3. Rendimiento total de materia verde en el primer año productivo.

Tratamiento	I	II	III	\bar{X}	Duncan (5%)
0.5	110.80	117.20	126.92	118.30	A
4.1	118.78	107.30	121.44	115.84	A
4-0.75	112.81	110.06	119.71	114.19	AB
4-0.5	111.08	113.34	119.57	114.66	AB
3-1	108.04	113.22	130.72	117.33	A
3-0.75	103.66	113.52	129.35	115.51	A
3-0.5	123.12	105.52	118.40	115.68	A
2-1	123.54	118.91	115.10	119.18	A
2-0.75	113.93	103.59	123.01	113.51	AB
2-0.5	118.30	109.83	107.12	111.75	AB
1-1	94.64	109.70	114.29	106.21	AB
1-0.75	99.5	101.1	98.9	99.8	BC
1-0.5	95.52	74.74	93.78	88.01	CD
1/0-1	64.52	79.85	85.94	76.77	DE
1/0-0.75	69.50	72.70	68.20	70.11	EF
1/0-0.5	56.51	69.03	57.50	61.00	F

Al realizar un análisis de la Figura 1 se observa que la tendencia fue la siguiente: los tratamientos 2-1, 0.5, 3-1, 4-1, 3-0.5, 3-0.75, 4-0.5, 4-0.75, 2-0.5 y el 1-1 alcanzaron los mayores rendimientos y no presentaron diferencias significativas entre si; comprenden desde la aplicación de un riego por

corte y al 100% de la ETx hasta la aplicación de 4 riegos por corte. Los más bajos rendimientos se generaron en las combinaciones de 1-0.5, 1/0-1, 1/0.075 y el 1/0-0.5 tratamientos que fueron sometidos a déficit hídricos severos durante toda la fase productiva. A manera de conclusión puede decirse que la respuesta de la alfalfa en rendimiento total de forraje verde alcanzó la mayor producción con el tratamiento de dos riegos por corte y el 100% de la ETx, dicho tratamiento no mostró diferencias significativas con los tratamientos de 4, 3 e inclusive con el de un riego cuando este último se regó al 100% de la ETx. De aquí se puede concluir que es necesario un riego por corte para que el citado cultivo se desarrolle sin mermar en forma significativa su rendimiento.

Rendimiento de Forraje Verde por Corte Durante el Año. La Figura 2, ilustra la variación de la producción de forraje verde durante el año productivo para los tratamientos de 4 riegos y sus diferentes combinaciones del 100, 75 y 50% de la evapotranspiración máxima (ETx), la cual se determinó en el tratamiento que se desarrolló a 0.5 atm de tensión durante la fase productiva. En la Figura 2 se aprecia que a partir del primer corte ocurrido en el mes de abril, alcanzó una producción promedio de 11.4 ton ha⁻¹ incrementándose en los meses de mayo, junio y julio hasta 20.8 ton ha⁻¹ en promedio de los cuatro tratamientos. A partir de estos meses la producción de forraje verde declinó en el resto del año. La menor producción del año se presentó en el mes de agosto con 6.3 ton ha⁻¹. La causa principal de la merma en los rendimientos fueron las altas temperaturas que originaron condiciones propicias para el desarrollo de la enfermedad conocida como "pudrición texana" (*Phimatrotichum omnivorum*) y además, altas tasas de respiración que provocó que la alfalfa consumiera altos contenidos de carbohidratos.

La producción de forraje durante el año para el resto de los tratamientos fue similar al arriba expuesto, con el desplazamiento de dicho comportamiento debido a las diferencias intrínsecas existentes entre tratamientos.

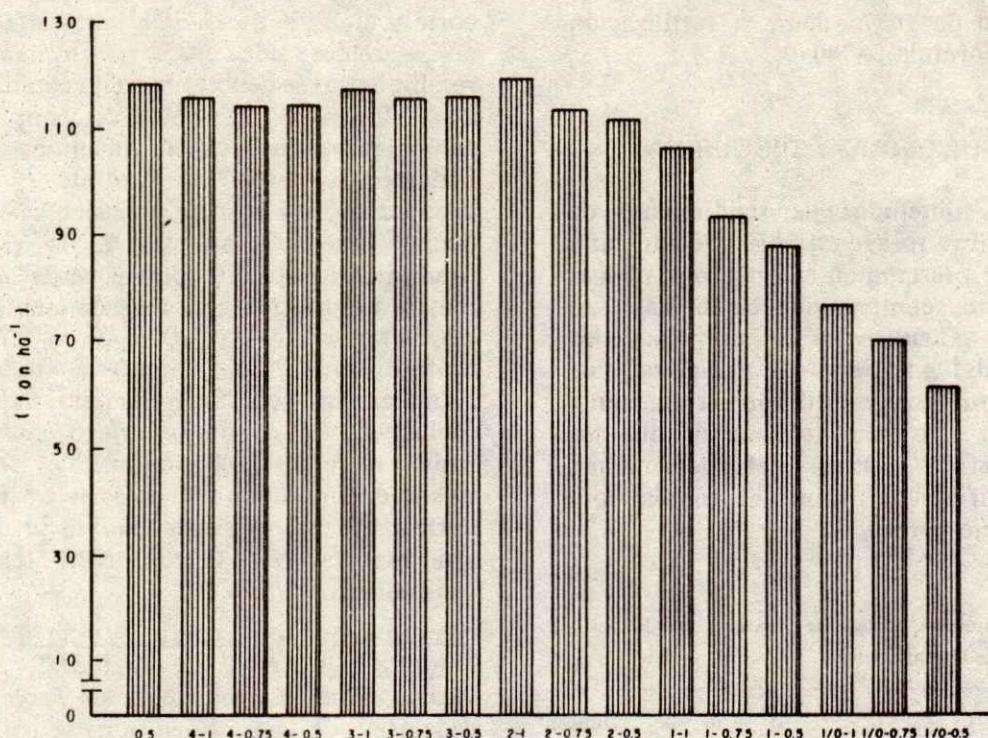


Figura 1. Respuesta de la alfalfa en forraje verde a los tratamientos bajo estudio.

Rendimiento Total de Forraje Seco. Los datos obtenidos para esta variable de respuesta en el primer año productivo se presentan en el Cuadro 4 donde se incluye la prueba de comparación de medias. Al analizar este Cuadro, la Figura 3 y de acuerdo al análisis de varianza y la prueba de comparación de medias de Duncan se obtuvieron diferencias altamente significativas entre tratamientos, por lo que se concluye que los diferentes déficit hídricos en el suelo, inducidos por los diferentes tratamientos tienen un efecto diferencial sobre el rendimiento de materia seca.

Al analizar la Figura 3 se deduce la tendencia general de la respuesta en materia seca total de alfalfa a los diferentes tratamientos de riego; el grupo de combinaciones compuesto por 3-0.75, 2-1, 3-0.5, 2-0.5, 4-0.5, 4-1, 0.5, 2-0.75, 3-1, 4-0.75 y el 1-1 no presentaron diferencias significativas al 5% de probabilidad; este

Cuadro 4. Rendimiento de materia seca en el primer año productivo.

Tratamiento	I	II	III	\bar{X}	Duncan (5%)
0.5	25.48	28.61	27.99	27.20	A
4-1	26.82	25.34	30.34	27.50	A
4-0.75	25.64	25.81	28.84	26.75	ABC
4-0.5	29.98	25.56	27.97	27.83	AB
3-1	25.89	25.06	29.21	26.71	ABC
3-0.75	28.62	27.48	30.13	28.78	A
3-0.5	28.03	25.30	31.09	28.13	AB
2-1	27.72	28.71	28.54	28.07	A
2-0.75	26.18	24.70	30.77	27.20	ABC
2-0.5	28.39	25.78	29.31	27.82	AB
1-1	24.45	27.98	24.98	26.88	ABC
1-0.75	23.49	23.24	28.58	25.09	BC
1-0.5	24.38	21.80	26.69	24.29	C
1/0-1	19.28	18.55	23.75	21.14	D
1/0-0.75	18.30	19.34	20.38	19.34	DE
1/0-0.5	17.10	15.26	18.18	16.85	E

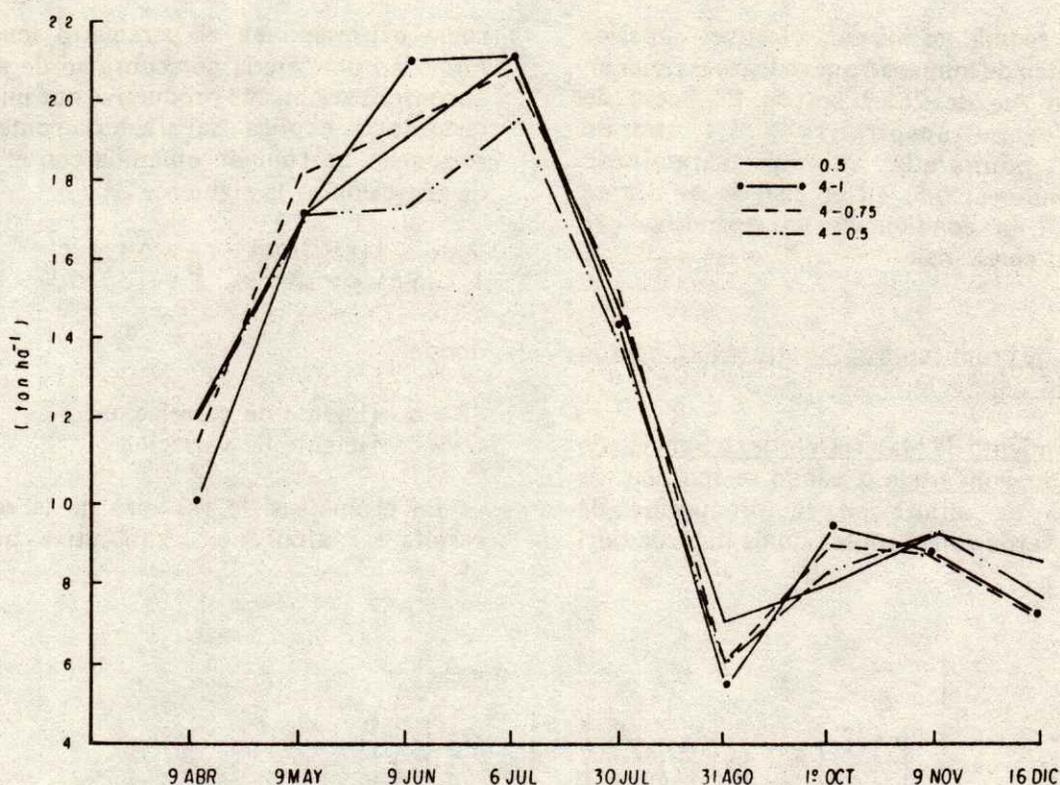


Figura 2. Respuesta de la alfalfa en materia verde durante el primer año de producción.

grupo se caracteriza por obtener la mayor respuesta en materia seca en el primer año de producción; su mayor rendimiento se alcanzó con el tratamiento 3-0.75 y fue de 28.6 ton ha⁻¹ y la menor producción se obtuvo con el tratamiento 1-1 y fue de 25.7 ton ha⁻¹. El tratamiento 1-0.75 que alcanzó 25.1 ton ha⁻¹ no presentó diferencias estadísticas con los anteriores tratamientos.

Por último las combinaciones: 1-0.5, 1/0-1, 1/0-0.75 y el 1/0-0.5 sin diferencia estadística significativa entre ellos, sobresalieron de los anteriores por su disminución en la respuesta en la producción de materia seca, esto como causa a los déficit hídricos más severos a que fueron sometidos.

De acuerdo a lo expuesto, se puede concluir en forma similar como se hizo para materia verde, que la alfalfa logra su mayor producción de materia seca al aplicar desde 1 hasta 4 riegos por corte. De acuerdo al manejo del recursos restringido es conveniente

la aplicación de la menor cantidad de agua sin disminuir en forma significativa la producción de este forraje; por lo tanto es factible aplicar el tratamiento 1-0.75 sin mermar considerablemente la producción de materia seca de alfalfa.

Régimen de Humedad del Suelo en los Tratamientos Estudiados. El Cuadro 5 contiene el régimen de humedad del suelo expresado con los parámetros de evapotranspiración (ET), déficit evapotranspirativo (DE), y tensión ponderada por consumo de agua (Tp); además, contiene el promedio total de rendimiento de materia verde (RMV) y el rendimiento de materia seca (RMS). En lo referente a los rangos manejados del régimen de humedad, se observa que su nivel inferior fue de 78.5 cm de lámina consumida anual (ET), déficit evapotranspirativo de 0.71 y tensión ponderada de 14.9 atm, tales valores correspondieron al tratamiento 1/0-0.5 que se caracterizó por su

extrema sequía; asimismo, el nivel superior del régimen de humedad que se logró simular en el campo fue de 265.7 cm de ET, cero de déficit evapotranspirativo y 1.1 atm de tensión ponderada; dicho tratamiento correspondió al 0.5, en el cual la alfalfa se desarrolló en condiciones no restrictivas de humedad en el suelo.

Funcion de Producción de Alfalfa al Régimen de Humedad del Suelo.

a) Rendimiento de Materia Verde en Función de la Tensión Ponderada. Cuando se relacionó la respuesta de alfalfa en su producción de materia verde con el contenido de humedad del

suelo expresado en el parámetro tensión de humedad ponderada por consumo de agua, se encontró para un año productivo que un modelo cuadrático explica satisfactoriamente dicha relación. La función obtenida con el análisis de regresión es la siguiente:

$$R_{mv} = 118.5 - 1.33 T_p - 0.125 T_p^2 \dots (2)$$

$$R = 0.93 \text{ CV} = 7.4\%$$

donde:

R= coeficiente de correlación
CV= coeficiente de variación

En el análisis de varianza de la regresión resulta ser altamente significativa para esta

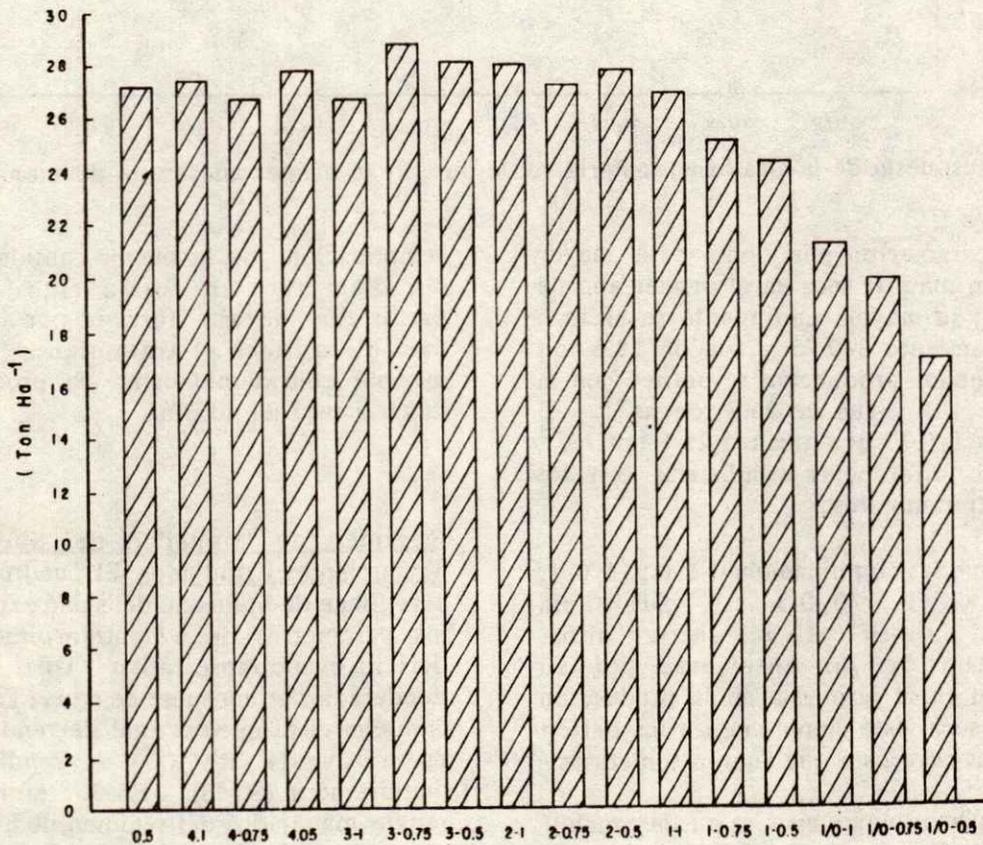


Figura 3. Respuesta de la alfalfa en forraje seco a los tratamientos bajo estudio.

Cuadro 5. Rendimiento total promedio y régimen de humedad del suelo para los tratamientos bajo estudio en el primer año de producción.

Tratamiento	RMV	RMS	ET	DE	T _p
0.5	118.3	27.2	265.7	0	1.1
4-1	115.8	27.5	218.3	0.18	1.5
4-0.75	114.2	26.7	181.3	0.32	1.3
4-0.5	114.7	27.8	137.1	0.48	2.4
3-1	117.3	26.7	199.7	0.25	1.9
3-0.75	115.5	28.8	178.4	0.33	1.4
3-0.5	115.7	28.1	131.4	0.51	1.9
2-1	119.2	28.1	183.1	0.31	1.8
2-0.75	113.5	27.2	162.1	0.39	2.5
2-0.5	111.7	27.8	118.8	0.55	6.5
1-1	106.2	26.9	175.3	0.34	8.8
1-0.75	99.8	25.1	155.3	0.42	5.7
1-0.5	88.0	24.3	114.1	0.57	14.5
1/0-1	76.8	21.1	125.0	0.53	12.4
1/0-0.75	70.1	19.3	101.1	0.62	14.3
1/0-0.5	61.0	16.8	78.5	0.71	14.9

fuelle, con lo que se concluye que las variables independientes bajo estudio explican satisfactoriamente la respuesta de la alfalfa en rendimiento de materia verde. Al realizar la optimización de la función (2) se obtienen los siguientes puntos críticos:

$$T_p^* = 5.3 \text{ atm y RMV} = 107.4 \text{ ton ha}^{-1}$$

Esto significa que para lograr maximizar la producción de materia verde de alfalfa, debe mantenerse un contenido de humedad en el suelo, equivalente a una tensión de 5.3 atm.

b) Producción de Materia Verde en Función de la Evapotranspiración. Al relacionar el rendimiento de materia verde con la lámina de agua consumida para cada tratamiento, que se reporta en el Cuadro 5, se encontró que entre ambas variables existió una relación de tipo cuadrático. La función obtenida fue la siguiente:

$$\text{RMV} = -16.30 + 1.25 \text{ ET} - 0.003 \text{ ET}^2 \dots (3)$$

$$R = 0.84 \quad \text{CV} = 10.52\%$$

Al analizar el proceso matemático de la optimización se obtiene la evapotranspiración óptima bajo la cual el cultivo obtiene la producción máxima de materia verde:

$$ET^* = 208 \text{ cm y un RMV}^* = 114 \text{ ton ha}^{-1}$$

c) Rendimiento de Materia Seca de la Alfalfa y la Tensión de Humedad del Suelo. De la misma manera como se presentó la discusión para la variable rendimiento de materia verde se expone la relación existente entre la producción de materia seca de alfalfa y el régimen de humedad del suelo expresado en tensión de humedad del suelo; para los datos obtenidos se encontró que el modelo cuadrático explica satisfactoriamente dicha relación. La función obtenida en base al análisis de regresión fue la siguiente:

$$\text{RMS} = 27.31 + 0.225 T_p - 0.050 T_p^2 \dots (4)$$

$$R = 0.88 \quad \text{CV} = 7.1\%$$

Al analizar la optimización de la función (4) se obtiene el régimen de humedad óptima al cual debe desarrollarse la alfalfa para lograr la mayor producción de materia seca, esto es:

$$T_p^* = 2.2 \text{ atm y RMS} = 27.5 \text{ ton ha}^{-1}$$

De acuerdo a la función obtenida el cultivo de la alfalfa maximiza su producción de materia seca cuando se desarrolla a un régimen de humedad equivalente a 2.2 atm.

d) Relación entre el Rendimiento de Materia Seca de la Alfalfa y la Evapotranspiración. Al relacionar la producción anual de materia seca con la lámina de agua consumida para cada tratamiento, reportada en el Cuadro 4, se encontró que entre ambas variables existió una relación del tipo cuadrático; la función que se obtuvo fue la siguiente:

$$\text{RMS} = 1.84 + 0.26 \text{ ET} - 0.0006 \text{ ET}^2 \dots (5)$$

$$R = 0.81 \quad \text{CV} = 8.5\%$$

Al realizar el proceso matemático de optimización se obtiene la evapotranspiración óptima bajo la cual el cultivo maximiza su rendimiento de materia seca, esta es:

ET* 217 cm y RMS* = 30 ton ha⁻¹

CONCLUSIONES

El régimen de humedad óptimo para maximizar la producción de materia verde de alfalfa es de 5.3 atm de tensión, de acuerdo a la función obtenida.

- De acuerdo con el análisis de comparación de medias para la citada variable respuesta, se concluye que el mejor tratamiento fue la aplicación de dos riegos por corte; sin embargo, no presentó diferencias significativas con la aplicación de un riego por corte.
- El régimen de humedad óptimo estimado con la función de respuesta, es muy similar con el contenido de humedad al que se desarrolló el tratamiento 1-0.75, esto significa resultados similares con los dos procedimientos de análisis, (función de respuesta y comparación de medias).
- La función de producción que explica el comportamiento del rendimiento de materia verde a diferentes tasas evapotranspirativas estima que la aplicación de 206 cm de agua maximiza la producción de materia verde; sin embargo, al analizar la pendiente de dicha función, se concluye que cuando el cultivo evapotranspira 155 cm que corresponde al tratamiento 1-0.75, no existen diferencias significativas en producción, hecho que concuerda con las observaciones anteriores.
- Al realizar un análisis de las pendientes de las funciones de producción para rendimiento de materia seca en lo referente a la tensión de humedad del suelo y a la evapotranspiración, se concluye que la alfalfa alcanza su mayor producción cuando se somete a 5.7 atm de tensión en el suelo y al consumir 155 cm de lámina de agua anual.

Es posible incrementar la eficiencia en el uso del agua de la alfalfa de 2.6 kgMs/m³ a 6.4 kgMs/m³.

La aplicación de la tecnología generada en este estudio sería posible primeramente realizando la concientización de los productores en cuanto a la problemática del recurso agua de riego, tanto en la actualidad como en el futuro. Posteriormente, la extracción del agua del subsuelo deberá ser limitada de acuerdo a la gravedad del problema; en estas condiciones el productor trataría de realizar un mejor manejo del recurso hídrico disponible. Además debe considerarse otras opciones de cultivos forrajeros, con altos contenidos de proteína, y más eficientes en la transformación de materia seca, que reduzcan el consumo de agua y se disminuya la sobreexplotación de los acuíferos en la Comarca Lagunera.

LITERATURA CITADA

- ABDUL-JABBAR, A.S., D.G. LUGG, T.W. SAMMIS y L.W. GAY. 1985. Relationships between crop water stress index and alfalfa yield and evapotranspiration. Transactions of the ASAE. 28(2): 454-461.
- BENZ L.C., E.J. DOERING, G.A. REICHMAN. 1985. Alfalfa yields and evapotranspiration response to water tables and Irrigation. Transaction of the ASAE, 28(4): 1178-1185.
- ECONOTENIA AGRICOLA. 1983. Consumos aparentes de productos agrícolas SARH-DGEA. p. 57-58, México, D.F.
- FERERES, E.E. *et al.* 1978. Seasonal changes in water potential and turgor maintenance in sorghum and maize under water stress *physiol.* Plant. 44 p. 261-267.
- HANSON C.H. 1972. Alfalfa science and technology. American Society of Agronomy No. 15 Series Agronomy Madison, Wisconsin, pp. 469-480.

INZUNZA I.M. 1989. Comportamiento de la alfalfa en respuesta del déficit evapotranspirativo en la fase de producción. Informes de Investigación. CENID-RASPA Vol. 3(1): 31-71.

SARH, Patronato para la Investigación, Fomento y Sanidad Vegetal de la Comarca Lagunera. 1989. Estadística de la producción agropecuaria y su valor. Ciclos (1987-88 y 1988-88) pp. 86-87, Cd. Lerdo, Dgo.

RESPUESTA DE DOS GENOTIPOS DE FRIJOL AL ACOLCHADO BAJO CONDICIONES DE TEMPORAL EN AGUASCALIENTES

Response of Beans to Plastic Mulch Under Rainfall
Conditions in Aguascalientes, Mexico

M.A. Martínez Gamiño

CIFAP-Aguascalientes, INIFAP, México

Palabras clave: Areas de temporal, Retención de agua por el suelo, Rendimiento de frijol.

Index words: Rainfed areas, Soil water retention, Yield of beans.

El rendimiento con Bayo Madero con y sin acolchado fue de 1842 kg ha^{-1} y 1404 kg ha^{-1} , respectivamente. En ambos genotipos el incremento del área foliar con acolchado no fue significativo. La humedad del suelo fue superior durante todo el ciclo con el acolchado en relación al tradicional.

RESUMEN

Lo aleatorio de la precipitación en el Estado, ocasiona un exceso de humedad en el suelo en la fase inicial del ciclo del frijol y una deficiencia hídrica durante el llenado de vainas. El objetivo de este estudio fue evaluar la respuesta de dos genotipos de frijol al acolchado plástico en temporal deficiente. Este estudio se estableció en Sandoval, Aguascalientes en 1986 en un suelo arcillo-arenoso; se evaluaron dos genotipos: Bayo Madero y Canario 72. La densidad de población fue de $88,000 \text{ plantas ha}^{-1}$. Se evaluaron dos tratamientos: 1) acolchado del año anterior y 2) tradicional. No se barbechó ni rastreó en el acolchado. En ambos tratamientos no se fertilizó. Se tuvieron parcelas apareadas. La siembra fue el 25 de julio. La lluvia en el ciclo fue de 199.8 mm.

SUMMARY

Beans growing under rainfall conditions in the Aguascalientes State, Mexico, suffer a water stress during the pod-filling stage due to scarcity and untimely distribution of rainfall. The objective of this study was to evaluate the response of two bean varieties to plastic mulch under rainfall conditions. This study was conducted in Sandoval, Aguascalientes during 1986 in a sandy loam soil. Two bean varieties were evaluated: Bayo Madero and Canario 72 in both conditions with plastic mulch laid the year before and the traditional method. Plant density average was $88,000 \text{ pl ha}^{-1}$. Mulched treatment was not tilled. The traditional treatment was tilled with plow and disk. Neither treatment was tilled with plow and disk. Neither treatment was fertilized. The experimental design was paired parcels. Soil moisture content was monitored during the growing season using the gravimetric method. Soil moisture was taken

twice a week at 0-30 cm depth. Seeding date was July 25. The rainfall during the growing season was 199.8 mm. Soil moisture was greater with mulching than that of the traditional method. Grain yield of Bayo Madero with and without mulching was 1842 and 1404 kg ha⁻¹, respectively. Grain yield for the traditional one was 1697 and 1222 kg ha⁻¹ for Bayo Madero and Canario, respectively.

INTRODUCCION

La producción de frijol bajo condiciones de temporal en Aguascalientes está sujeta a la variación en cantidad y frecuencia de las lluvias, situación que impone a las siembras de frijol en el Estado un alto riesgo de pérdida parcial o total a causa de la sequía, ya que en el período de 1980 a 1986 la superficie promedio que se sembró fue de 22,622 ha, de las cuales un 62% se perdió por sequía. La siembra de esta leguminosa en la entidad reviste gran importancia tanto por la superficie que ocupa como por las costumbres tradicionales de sus habitantes. El objetivo de este trabajo fue evaluar la respuesta de dos genotipos de frijol al acolchado plástico en temporal deficiente, con la hipótesis de que el uso del acolchado permite incrementar el rendimiento de grano bajo las mismas condiciones climáticas que normalmente imperan en la región.

De los principales efectos en el uso de acolchados Martín y Robledo (1971) señalaron los siguientes: mayor retención del agua en el suelo, incremento en la temperatura del suelo, conservación de la estructura del suelo, incremento de nitratos, reducción del movimiento y lixiviación del nitrógeno, menor incidencia de malezas, alteración del desarrollo de la raíz, protección a los frutos del contacto directo con el suelo, entre otros. En cuanto al efecto del acolchado en el rendimiento de grano del frijol Martínez *et al.* (1985) señalaron que no se registró un incremento en el rendimiento del frijol con acolchado dada la falta de lluvias durante el llenado de grano en la región de El Llano en el Estado de Aguascalientes.

MATERIALES Y METODOS

El presente estudio se realizó durante 1986. El sitio experimental se ubica en Sandoval, Aguascalientes, en la zona temporalera del Estado. El clima, según la clasificación de Köppen modificada por García (1973), se define como BS₁KW(w), es decir semi-seco con lluvias en verano y escasas a lo largo del año con temperatura media anual entre 12-18°C. La precipitación anual fluctúa entre 182 y 486 mm con una media de 363 mm. La temperatura media anual es de 16.3°C y la evaporación anual de 2044 mm. Los suelos son del tipo Planosol éutrico y Xerosol háplico con textura arcillo-arenosa y una fase dúrica (duripan) a menos de 50 cm de profundidad.

Se establecieron parcelas con dos genotipos de frijol: el Bayo Madero y Canario 72, a una densidad de 80,000 plantas ha⁻¹, la distancia entre plantas fue de 15 cm y entre hileras a 76 cm. Los tratamientos fueron: 1) acolchado negro, calibre 300 en franjas de 1.4 m de ancho y establecido el año anterior y 2) tradicional. No se barbechó, rastreó ni fertilizó en el tratamiento con el acolchado y la siembra fue con sembradora de espeque. En el tratamiento tradicional el suelo si se barbechó y rastreó en el mes de mayo y la siembra se hizo con maquinaria convencional. Tampoco se fertilizó este tratamiento. Se determinó la humedad del suelo por el método gravimétrico para el estrato 0-30 cm con una frecuencia de dos muestreos semanales durante el ciclo del cultivo. Se estimó el área foliar durante la floración tomando tres plantas al azar y de dichas plantas se estimó la materia seca por planta. A la cosecha se realizaron 10 muestreos de parcelas de 9.12 m² y el rendimiento del frijol se reportó con un 14% de humedad. A excepción del muestreo de humedad del suelo al resto de las variables se les aplicó la prueba estadística de "t" a un nivel de significancia del 5%.

RESULTADOS Y DISCUSION

Precipitación y humedad del suelo.

El total de la lluvia desde la siembra, el 25 de julio, a madurez fisiológica, el 20 de

octubre para el acolchado y el 3 de noviembre para el tradicional; fue de 199.8 mm. De dicha cantidad el 25.6% ocurrió de la siembra al anicio de la floración y el resto durante el llenado de vainas. En la Figura 1 se aprecia que el contenido de humedad del suelo al momento de la siembra fue mayor con el acolchado en comparación con el porcentaje de humedad del suelo que manifestó el tratamiento tradicional, casi cercano al punto de marchitez permanente (PMP). Posterior a la siembra, durante el mes de agosto sólo se registraron tres eventos, dos de ellos menor a los 10 mm y el tercero de sólo 13 mm; sin embargo, gracias al uso del acolchado el nivel de humedad en este tratamiento se mantuvo por arriba del PMP, en cambio para el tradicional, en dicho período, la humedad del suelo fue inferior al valor del PMP. Por otra parte, debido a la presencia de lluvias el contenido

de humedad en el suelo fue similar para ambos tratamientos a finales de agosto.

En la misma Figura 1, se aprecia que después del inicio de la floración a mediados de septiembre el nivel de humedad del tratamiento tradicional nuevamente fue menor al PMP, mientras que con el acolchado se conservó más humedad en el suelo a causa de las lluvias ocurridas a principios del mismo mes. No obstante lo anterior, a finales de dicho mes, el nivel de humedad del suelo en el tratamiento con acolchado fue menor al PMP. En octubre, en pleno período de llenado de grano, se registraron suficientes lluvias para que nuevamente el contenido de agua en el suelo se incrementara, manifestándose una vez más una mayor humedad del suelo con el uso del acolchado.

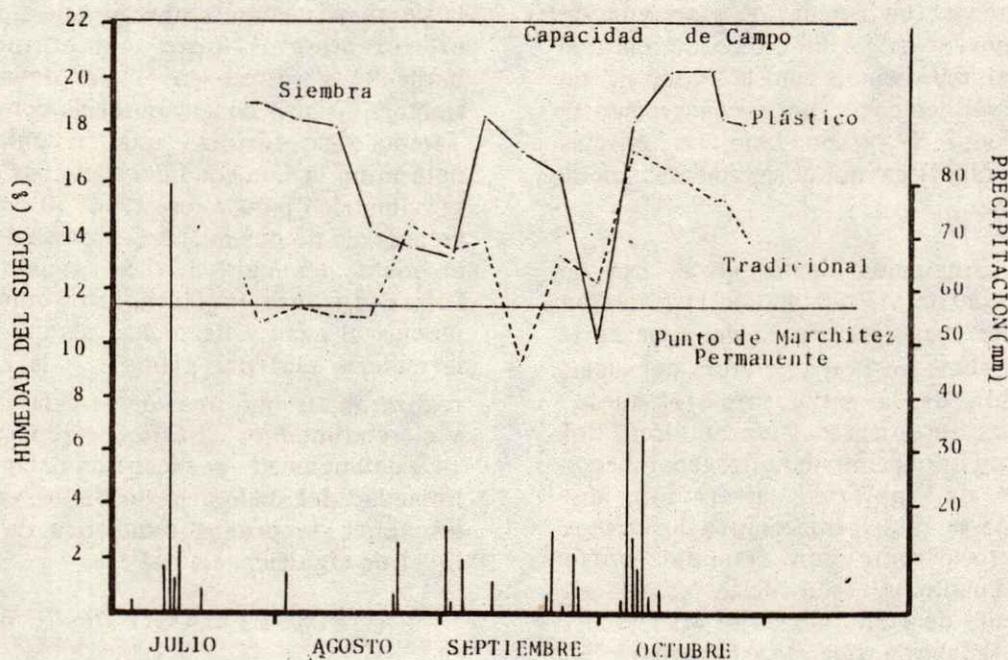


Figura 1. Humedad del suelo con y sin acolchado con Bayo Madero y Canario 72 bajo temporal en el estrato de 0-25 cm. Sandoval, Ags. 1986.

Indice de área foliar.

El índice de área foliar (IAF) del Bayo Madero a inicios de la floración fue estadísticamente igual (0.81 a 0.82) en el acolchado y el tratamiento tradicional, respectivamente (Cuadro 1). Pero durante el llenado de grano, el valor del IAF fue significativamente mayor (0.76 VS 0.40) en el acolchado.

Dichos valores del IAF, principalmente los obtenidos durante el llenado de grano, fueron generados principalmente por las mejores condiciones de humedad del suelo con el acolchado en relación al tratamiento tradicional. En cambio, al inicio de la floración, la similitud de los IAF se atribuyó al descenso de humedad del suelo que hubo en el acolchado, que alcanzó niveles similares a los observados en el tratamiento tradicional.

En el mismo Cuadro 1 se registran los valores de peso seco por planta, obtenidos en dos periodos. En el primero, a inicios de floración, se tuvieron diferencias significativas entre el acolchado y tratamiento tradicional, con 10.1 y 12.34 g planta⁻¹, respectivamente, no así en el segundo muestreo, el cual fue ejecutado durante el llenado de grano y donde los valores fueron de 17.94 y 12.28 g planta⁻¹.

La acumulación de materia seca fue mayor en el tratamiento tradicional al inicio de floración, situación que contradice lo reportado por Acosta (1973). Este autor señaló un efecto positivo en el desarrollo de las plantas con el acolchado. Por otra parte durante el llenado de grano se observó un incremento de peso de 17.94 g planta⁻¹ con acolchado contra 12.28 g planta⁻¹, aunque estadísticamente estos valores son iguales. Lo anterior obedeció principalmente a las condiciones de humedad en el suelo acolchado.

Los valores del IAF para el caso del Canario 72 al inicio de la floración y durante el llenado de grano fueron estadísticamente iguales en acolchado y tradicional. En el

Cuadro 1. Índice de área foliar y peso seco del frijol Bayo Madero con y sin acolchado en Sandoval, Aguascalientes. 1986.

Tratamiento	Índice de área foliar		Peso seco	
	Floración Llen. Grano	Floración Llen. Grano	Floración Llen. Grano	Floración Llen. Grano
Acolchado	0.81 a	0.76 a	10.1 b	17.94 a
Tradicional	0.82 a	0.40 b	12.3 a	12.28 a

Las medias con igual literal no son significativamente diferentes ($p = .05$).

Cuadro 2, se aprecia que el valor del IAF con acolchado al inicio de floración fue de 1.16 contra 0.76 del tradicional, que manifestó una tendencia positiva al acolchado a incrementar el IAF, lo que contrastó con la respuesta del Bayo Madero que fue comparativamente menor. Durante el llenado de grano los valores del IAF fueron de 0.71 y 0.66 con acolchado y tradicional respectivamente, lo cual representó una senescencia foliar prematura del Canario 72 con acolchado pero no en forma drástica, ya que su valor fue inclusive mayor al tradicional.

Cuadro 2. Índice de área foliar y peso seco del frijol Canario 72 con y sin acolchado en Sandoval, Aguascalientes. 1986.

Tratamiento	Índice de área foliar		Peso seco	
	Floración Llen. Grano	Floración Llen. Grano	Floración Llen. Grano	Floración Llen. Grano
			g planta ⁻¹	
Acolchado	1.16 a	0.71 a	17.74 a	14.28 a
Tradicional	0.76 a	0.66 b	15.22 a	14.45 a

Las medias con igual literal no son significativamente diferentes ($p = .05$).

El peso seco del frijol de ambos tratamientos fue estadísticamente igual tanto al inicio de la floración como durante el llenado de grano, pero se observó en el primer

estado una ligera tendencia en el acolchado a una mayor respuesta que en el tratamiento tradicional, probablemente esta diferencia fue causada por las mejores condiciones de humedad del suelo acolchado.

Rendimiento de grano.

El rendimiento de grano del frijol Bayo Madero fue de 1.84 y 1.40 ton ha⁻¹ con acolchado y tradicional respectivamente, diferencia que fue significativa. Estos resultados reflejan las mejores condiciones de humedad del suelo bajo el acolchado, que propiciaron un incremento en el rendimiento de grano (Cuadro 3).

De igual forma se tuvo que el número de vainas por planta fue estadísticamente superior en el acolchado que en el tratamiento tradicional, (17.81 contra 14.3) como se aprecia en el Cuadro 3, donde además se reporta que el peso de 100 semillas, que fue igual en ambos tratamientos.

Cuadro 3. Rendimiento de grano y componentes del rendimiento del frijol Bayo Madero con y sin acolchado en Sandoval, Ags. 1986.

Tratamiento	Rend.Grano ton ha ⁻¹	Vainas pl ⁻¹	Peso de 100 granos g
Acolchado	1.84 a	17.8 a	40.9 a
Tradicional	1.40 b	14.3 b	40.6 a

Las medias con igual literal no son significativamente diferentes (p = .05).

El rendimiento de grano del frijol Canario 72 fue 1.70 y 1.22 ton ha⁻¹ con acolchado y tratamiento tradicional, respectivamente, los cuales resultaron ser diferentes estadísticamente. Al igual que con frijol Bayo Madero, el Canario 72 incrementó su producción de grano con el acolchado así como el número de vainas por planta. Este fue de 13.41 y 10.44 para acolchado y tratamiento

tradicional, respectivamente. En cambio en el peso de 100 granos no se observó diferencia, como se aprecia en el Cuadro 4. Esta respuesta positiva al acolchado en gran parte se debió a las mejores condiciones de humedad del suelo que este tratamiento generó durante el ciclo del frijol.

Cuadro 4. Rendimiento de grano y componentes del rendimiento del frijol Canario 72 con y sin acolchado en Sandoval, Ags. 1986.

Tratamiento	Rend.Grano ton ha ⁻¹	Vainas pl ⁻¹	Peso de 100 granos g
Acolchado	1.70 a	13.41 a	39.9 a
Tradicional	1.22 b	10.44 b	41.6 a

Las medias con igual literal no son significativamente diferentes (p = .05).

CONCLUSIONES

Para las condiciones agroclimáticas prevalecientes durante la conducción del presente trabajo, los resultados obtenidos permiten señalar las siguientes conclusiones:

El rendimiento de los genotipos Bayo Madero y Canario 72 con acolchado incrementó en promedio 400 kg ha⁻¹, respecto del tratamiento tradicional sin plástico.

La respuesta de los genotipos evaluados al efecto del acolchado, en rendimiento, IAF y peso seco, estuvo relacionado con un mayor contenido de humedad del suelo.

LITERATURA CITADA

ACOSTA N., S. 1973. Uso del plástico negro en el combate de malezas y algunos efectos colaterales. Seminario Técnico del CIANE-INIA. 17 p.

GARCIA, E. 1973. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana, UNAM, México. 246 p.

MARTIN, V.L., y F. ROBLEDO DE PEDRO. 1971. Manual sobre aplicación de los plásticos en agricultura. 2a. Ed. Instituto de Plásticos y Caucho. Madrid. 363 p.

MARTINEZ G., M.A., V.S. MARTIN DEL CAMPO y J.A.M. DEL TORO. 1985. Efecto del acolchado en dos variedades de frijol en Aguascalientes. Informe Técnico. INIA-CIFAP, Aguascalientes, México.

**RESPUESTA DEL MAIZ H-204 AL ACOLCHADO EN UN
SEGUNDO CICLO DE CULTIVO BAJO CONDICIONES
DE TEMPORAL EN AGUASCALIENTES**

Response of Corn H-204 to Plastic Mulch in a
Second Cycle Under Rainfall
Conditions in Sandoval, Aguascalientes, Mexico

M.A. Martínez Gamiño

CIFAP-Aguascalientes, INIFAP, México

Palabras clave: Maíz, Acolchado, Rendimiento,
Aguascalientes, México.

Index words: Corn, Plastic mulch, Yield,
Aguascalientes, Mexico.

humedad del suelo fue mayor con el acolchado, conservándola más tiempo en periodos de sequía respecto al tratamiento tradicional. El rendimiento de grano fue de 4.56 y 2.55 ton ha⁻¹ con el acolchado y el tratamiento tradicional, respectivamente.

RESUMEN

El llenado de grano del maíz de temporal en el Estado de Aguascalientes, generalmente coincide con periodos de sequía. El objetivo de este estudio fue evaluar la respuesta del maíz al acolchado en temporal deficiente. Este estudio se realizó en Sandoval, Aguascalientes, durante 1986 en un suelo arcillo-arenoso, se utilizó el híbrido H-204 con una densidad de 44,000 plantas ha⁻¹. Se evaluaron dos tratamientos: 1) con acolchado del año anterior y 2) tradicional. No se barbechó ni rastreó en el acolchado. En ambos tratamientos no se fertilizó. Se tuvieron parcelas apareadas. La humedad del suelo se midió usando el método gravimétrico, para esto se realizaron dos muestreos por semana a una profundidad de 0-30 cm. La siembra se realizó el 25 de julio. La lluvia durante el ciclo del cultivo fue de 225.8 mm. El contenido de

SUMMARY

Maize grown under rainfall conditions in the state of Aguascalientes, Mexico, suffers a water stress during the grain-filling stage. The objective of this study was to evaluate the maize response to plastic mulch under rainfall condition. This study was conducted in Sandoval, Aguascalientes, during 1986 in a sandy loam soil. The hybrid H-204, at a plant density of 44,000 plants ha⁻¹ was used. Two treatments were evaluated: 1) plastic mulch laid a year before, and 2) traditional. Mulched treatment was not tilled. Traditional treatment was plowed and disked. Neither of the two treatments were fertilized. The experimental design was paired parcels. Soil moisture content was monitored during the entire growing season using the gravimetric method. Soil moisture was taken twice a week at 0-30 cm depth. Seeding date was July 25. The rainfall during the growing season was 225.8 mm. Soil moisture was greater with

Recibido 2-90.

plastic mulch than with traditional treatment. Grain yield was 4.56 and 2.55 ton ha⁻¹ with plastic mulch and traditional treatments, respectively.

INTRODUCCION

El principal factor limitante en la producción de maíz en la zona Norte-Centro de México, es el déficit hídrico que presenta dicho cultivo bajo condiciones de temporal. Este se debe principalmente a la errática distribución de las lluvias en función de las necesidades hídricas del maíz, situación que impone un alto riesgo de pérdida parcial o total del cultivo a causa de la sequía. Del promedio de la superficie sembrada con maíz bajo condiciones de temporal en Aguascalientes en el período de 1979 a 1986: 86,740 ha, el 66.36% de dicha superficie se ha siniestrado a causa de la sequía. Por lo anterior el objetivo de este trabajo fue evaluar la respuesta del maíz al acolchado plástico en temporal deficiente, con la hipótesis de que el uso del acolchado permite incrementar el rendimiento del maíz bajo las mismas condiciones climáticas que normalmente imperan en el Estado de Aguascalientes.

Respecto al acolchado del suelo, Martín y Robledo (1971) señalaron que los principales efectos del plástico negro fueron: a) una mayor retención de agua en el suelo, b) incremento en la temperatura del suelo, c) conservar la estructura del suelo, d) favorecer el incremento de los nitratos, e) reducir el movimiento y lixiviación del nitrógeno, j) reducir la incidencia de malezas, g) alteración en el desarrollo de la raíz, y h) protección de frutos. Por otra parte, la utilización del acolchado plástico en condiciones de temporal errático indujo al cultivo del maíz a obtener un rendimiento de 2 ton ha⁻¹ comparado con la pérdida total del cultivo bajo condiciones tradicionales (Martínez *et al.*, 1985).

MATERIALES Y METODOS

El presente estudio se realizó en 1986. El sitio experimental se localizó en Sandoval, Ags., el cual está ubicado en la zona temporalera del Estado, denominado "El Llano". El clima en dicho sitio se clasifica como BS₁KW (w) según García (1973), es decir semi-seco con lluvias en verano y escasas a lo largo del año y una temperatura media anual entre 12 y 18°C. La variación de la precipitación media anual fluctúa entre 182 y 486 mm, con un promedio de 363 mm para el período de 1973 a 1982. En ese lapso, en los meses de junio a octubre se acumuló el 85% del total anual y durante junio, julio y agosto se presentó el 75% del total de las lluvias en el ciclo del maíz bajo temporal. La evaporación media anual fue de 2044 mm. Los suelos en el área son del tipo Planosol éutrico y Xerosol háplico con textura arcillo-arenosa y una fase dúrica (duripan) a menos de 50 cm de profundidad. La humedad del suelo a capacidad de campo fue de 22.2% y a punto de marchitez permanente de 11.3% en el estrato de 0 a 30 cm. El contenido de nitrógeno, fósforo y materia orgánica fue menor del 1%.

El material genético empleado fue el híbrido de maíz H-204 con una densidad de 44,000, planta ha⁻¹. Los tratamientos fueron: 1) acolchado en franjas de 1.4 m de ancho (establecido el año anterior) con plástico negro de calibre 300 y 2) tradicional sin acolchado. En el tratamiento con acolchado no se barbechó, rastreó, ni fertilizó y se sembró con una sembradora de espeque. En el tradicional se barbechó y rastreó el suelo, pero no se fertilizó, al igual que el acolchado, para mantener una condición de fertilización constante en ambos tratamientos. Se midió el índice de área foliar (IAF) en la floración así como el peso seco por planta. Se estimó la humedad del suelo por el método gravimétrico con dos muestreos semanales en el estrato de 0 a 30 cm. Se estimó el rendimiento de grano y rastrojo para los dos tratamientos. Dichas variables, a excepción de la humedad del suelo, la cual se trató gráficamente, se analizaron mediante una prueba de "t" al 5% de probabilidad.

RESULTADOS Y DISCUSION

Precipitación y humedad del suelo.

El total de lluvia caída desde la siembra, el 25 de julio, a la madurez fisiológica, el 30 de noviembre, fue de 225.8 mm. Su distribución permitió contar con el 42.2% entre la siembra y la floración, el resto ocurrió durante el llenado de grano. Estas condiciones de lluvia durante el ciclo del maíz no corresponden a la distribución típica en el estado de Aguascalientes señalada por Martínez (1982): 75% de la siembra a floración y sólo el 25% durante el llenado de grano.

En la Figura 1 se aprecia cómo el contenido de humedad del suelo, al momento de la siembra, fue mayor en las parcelas con acolchado. En cambio, en el tratamiento tradicional la siembra se realizó con una humedad en el suelo cercana al punto de marchitez permanente (PMP). Durante agosto y septiembre, el nivel de humedad bajo el acolchado no descendió por abajo del PMP, a pesar de que durante el mes de agosto sólo se registraron tres eventos, dos de ellos menores de 10.0 mm y muy espaciados entre si. El suelo con cultivo tradicional mantuvo, durante el mismo período, un nivel de humedad menor que el acolchado, que alcanzaron incluso

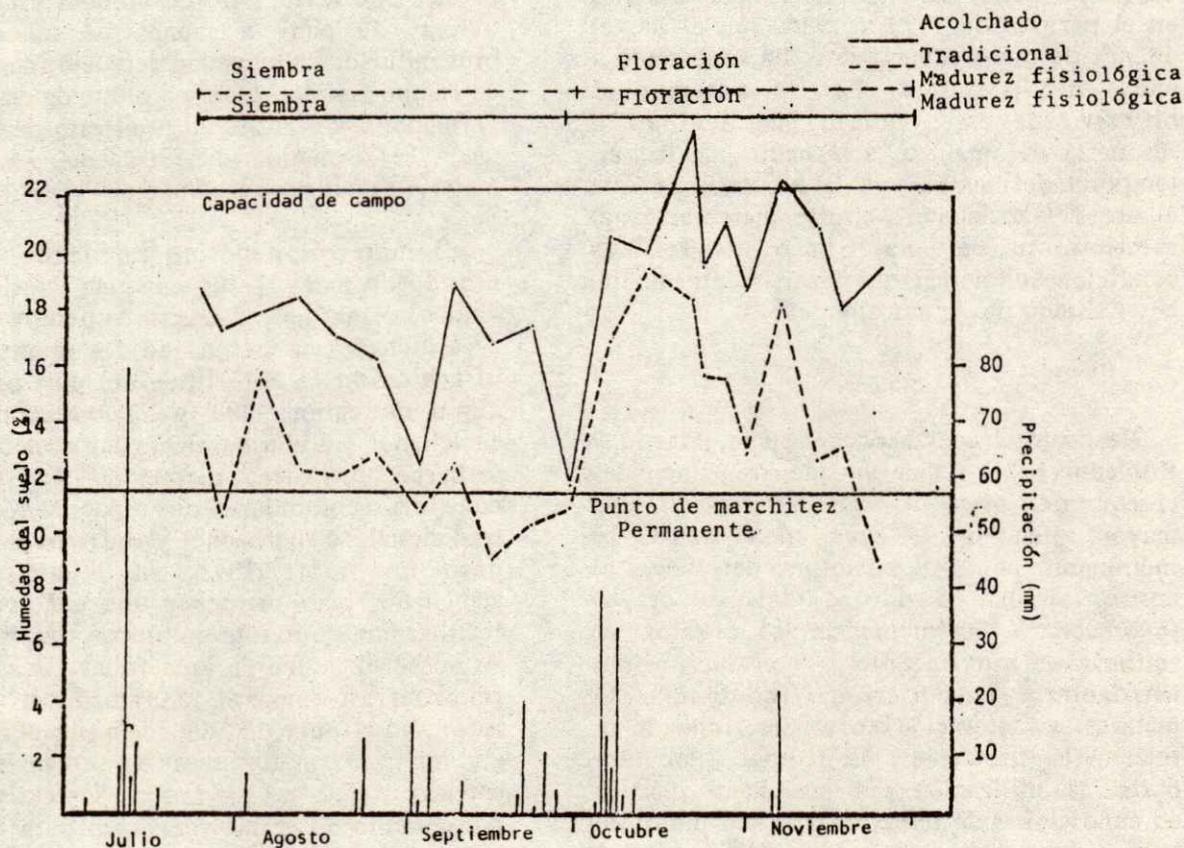


Figura 1. Humedad del suelo con y sin acolchado con maíz H-204 bajo temporal en el estrato 0-25 cm. Sandoval, Ags. 1986.

valores abajo del PMP a mediados de septiembre. La humedad del suelo se incrementó en ambos tratamientos, (más en el acolchado), a causa de un período de lluvias frecuentes y abundantes a inicios de octubre, situación que permitió que durante el llenado de grano en ambos tratamientos la humedad fuese aceptable.

Índice de Área Foliar (IAF).

En el Cuadro 1 se presentan los valores del IAF registrados antes de la floración y durante el llenado de grano. No hubo diferencias significativas entre ambos tratamientos, a pesar que antes de la floración el valor del IAF con acolchado fue de 1.01 contra 0.71 del tratamiento tradicional, y durante el llenado de grano el valor del IAF en el tratamiento con acolchado mostró un incremento del 90% con respecto al valor del IAF del tradicional. Estos valores se atribuyeron a la mayor disponibilidad de agua en el suelo en el tratamiento con plástico. El agua es uno de los factores que más limitan el desarrollo del maíz bajo temporal en el área de estudio.

Peso seco.

El peso seco de maíz en las dos épocas de muestreo fue significativamente mayor en el tratamiento con acolchado, obteniéndose la mayor diferencia durante el llenado de grano. En este período el peso seco en el tratamiento con acolchado superó en más del 100% al valor registrado en el tratamiento tradicional (Cuadro 1).

Cuadro 1. Índice de área foliar y peso seco del Maíz H-204 con y sin acolchado bajo temporal en Sandoval, Aguascalientes. 1986.

Tratamiento	Índice de área foliar		Peso seco	
	Floración	Llenado de grano	Floración	Llenado de grano
			g planta ⁻¹	
Acolchado	1.01 a	1.96 a	51.55 a	212.4 a
Tradicional	0.71 a	1.03 a	34.09 b	105.6 b

Las medias con la misma letra no son significativamente diferentes (p = .05).

Rendimiento de grano.

El rendimiento de grano obtenido con acolchado fue de 4.56 ton ha⁻¹ contra 2.55 ton ha⁻¹ en el tratamiento tradicional. La diferencia entre ambos fue significativa y se atribuyó al efecto del acolchado que permitió retener más humedad en el suelo y con ello disminuir el déficit hídrico del cultivo. Esto repercutió en un mayor desarrollo foliar y acumulación de materia seca. El rendimiento de grano obtenido con el acolchado es muy superior al obtenido en el área de temporal de Aguascalientes, donde la media de producción oscila entre 0.3 y 0.5 ton ha⁻¹.

Los altos rendimientos se lograron, en parte, debido a que durante el llenado de grano no hubo déficit de agua, pues incluso en el tratamiento tradicional se observó una adecuada humedad del suelo, que lo llevó a obtener un rendimiento de 2.55 ton ha⁻¹. En el Cuadro 2 se indica además del rendimiento de grano, los valores de la longitud y diámetro de mazorca, el número de mazorcas por planta y el peso de 100 granos. En todos

Cuadro 2. Componentes del rendimiento del maíz H-204, con y sin acolchado, bajo temporal en Sandoval, Ags. 1986.

Tratamiento	Rendimiento de grano	Longitud de Mazorcas	Diámetro de Mazorcas	Mazorcas	Peso de 100 granos
	ton ha ⁻¹	cm	cm	planta ⁻¹	g
Acolchado	4.56 a	14.09 a	4.87 a	1.22 a	36.1 a
Tradicional	2.55 b	11.97 b	4.11 b	0.98 b	30.0 b

Las medias con la misma letra no son significativamente diferentes (P = .05).

estos parámetros se obtuvieron diferencias significativas favorables al acolchado, lo cual vino a reforzar el efecto positivo del empleo de esta técnica para conservar la humedad del suelo y disminuir el riesgo de pérdida por sequía.

CONCLUSIONES

Con base en los resultados de este trabajo se concluyó lo siguiente:

El acolchado permitió una mayor eficiencia en la conservación de la humedad del suelo durante el desarrollo del cultivo, por lo que la respuesta del maíz en lo referente al área foliar, materia seca, componentes del rendimiento y rendimiento de grano fue siempre estadísticamente superior a las mismas respuestas obtenidas con el tratamiento de cultivo tradicional.

La humedad del suelo en el acolchado durante períodos de sequía descendió por abajo valor del PMP, por lo que la efectividad de dicho tratamiento está sujeta a la ocurrencia de lluvias.

LITERATURA CITADA

GARCIA, E. 1973. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen (para adaptarlo a las condiciones de la Republica Mexicana). UNAM, México. 246 p.

MARTIN V., L., y F. ROBLEDO DE PEDRO. 1971. Manual sobre aplicaciones de los plásticos y caucho. Madrid, España. 363 p.

MARTINEZ G., M.A. 1982. Determinación del balance hídrico regional en maíz bajo temporal en Aguascalientes. *In:* Resúmenes de investigación. Maíz 1981. INIA-CIANOC, México. 48 p.

MARTINEZ G., M.A., S. MARTIN DEL CAMPO V. y J.A. DEL TORO M. 1985. Efecto del acolchado en el Maíz H-204 en Aguascalientes. INIA-CIANOC, México. 14 p.

VALIDACION DEL ACOLCHADO PLASTICO EN TOMATE, PEPINO, SANDIA Y ALGODONERO EN EL NOROESTE DE MEXICO

Validation of Black Plastic Mulching on Tomato, Cucumber, Watermelon and Cotton in the Northwest of Mexico

Luis Ibarra J., A. Rodríguez P.

Centro de Investigación en Química Aplicada, Saltillo, Coah.

Palabras clave: Acolchado, Beneficio económico, *Lycopersicon esculentum* Mill, *Cucumis sativus* L., *Citrullus vulgaris* Schrad, *Gossypium hirsutum* L.

Index words: Plastic mulch, Net revenue, *Lycopersicon esculentum* Mill., *Cucumis sativus* L., *Citrullus vulgaris* Schrad., *Gossypium hirsutum* L.

RESUMEN

Se establecieron parcelas de validación con acolchado tendientes a incrementar el rendimiento, conocer los costos de producción y el beneficio económico de los agricultores. La superficie con acolchado varió de una a tres hectáreas. El acolchado incrementó la producción de tomate, pepino, sandía y algodón en 47.1, 75.1, 66.7 y 210.0% respectivamente; los costos de producción al usar acolchado fueron superiores al testigo en 31.4, 33.9, 58.2 y 118.2%. El beneficio económico al usar acolchado fue significativamente superior al obtenido en el testigo con incrementos de 143.8, 112.0, 96.9 y 653.8% respectivamente.

SUMMARY

Tomato, cucumber, watermelon and cotton were grown in the field on black plastic mulch

and on bare soil. The bare soil was used as the control. Black plastic mulch treatments were the most productive with 47.1, 75.1, 66.7 and 210% increase in yield over the control. Total production costs of plastic mulch were 31.4, 33.9, 58.2 and 118.2% greater than the costs to produce on bare soil. Net revenues of black plastic treatments were significantly higher than those obtained from bare soil plots with an increase from 143.8, 112.0, 96.9 and 653.8%.

INTRODUCCION

El Centro de Investigación de Química Aplicada (CIQA) localizado en Saltillo, Coah., la Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial (ONUDI) y Petróleos Mexicanos (PEMEX), condujeron un proyecto de plásticos en la agricultura durante 1979-86. En el presente estudio se presentan algunos resultados obtenidos entre las tres instituciones. El convenio de trabajo sobre acolchado desarrollado durante 1983-85 fue transferido después de cinco años de estudio en la estación experimental del CIQA.

El acolchado con polietileno negro ayuda a eliminar la gran mayoría de las malezas, excepto el coquillo (*Cyperus rotundus*). El efecto herbicida del plástico negro se debe a su impermeabilidad de la luz que impide la actividad fisiológica de las malezas. Lo anterior es un argumento para disminuir el número de jornales empleados. Las películas

Recibido 3-90.

plásticas para acolchado al ser colocadas en el suelo impiden la evaporación del agua, lo que permite su ahorro (Ibarra y Rodríguez, 1982a) y el incremento de la temperatura, que provocan un más rápido crecimiento de las plantas, ocasionándose con ello la anticipación a cosecha (Hernández, 1984; Fierro, 1988; Ramos, 1988), excepto en tomate (Rodríguez *et al.*, 1986). La temperatura, la humedad y su relación, además de la naturaleza físico-química del terreno, condicionan la actividad de la flora microbiana ejerciendo en sentido positivo o negativo la nitrificación. El nitrógeno distribuido en el suelo y obtenido mediante la nitrificación está casi todo a disposición de las plantas, porque bajo acolchado y haciendo un suministro adecuado del riego no hay pérdidas de nitrógeno por percolación, lo que permite incrementar la producción (Ibarra y Rodríguez, 1982b, c; Fierro, 1988).

En 1980 el consumo "per capita" de plásticos para uso agrícola fue de 1.28, 1.20, 0.64, 0.44 y 0.38 kg en Italia, Japón, España, Francia e Israel, mientras que en México el consumo apenas fue de 0.04 kg/habitante. Una de las razones que se arguyen para el bajo aprovechamiento del plástico en la agricultura nacional es la falta de tecnologías adecuadas, que por consecuencia no se han difundido suficientemente.

Los experimentos realizados en el CIQA fueron la base para llevar a cabo este trabajo de validación de los resultados en los cultivos de tomate, pepino, sandía y algodón.

MATERIALES Y METODOS

Para validar el uso de acolchado trabajaron conjuntamente, PEMEX, ONUDI, CIQA, la industria de la transformación del plástico y los agricultores; PEMEX proporcionó el apoyo financiero y la resina para la elaboración de los plásticos; ONUDI colaboró con apoyo financiero para el desarrollo del proyecto desde su fase inicial hasta su culminación; la

industria permitió acceso a sus instalaciones para realizar los "concentrados" y las películas apropiadas y los agricultores prestaron sus parcelas. Los investigadores del CIQA proporcionaron sus experiencias y guiaron a la industria a los agricultores a producir y utilizar los materiales plásticos.

Las parcelas de validación fueron establecidas con cultivos comerciales y la superficie cubierta con acolchado varió de una a tres hectáreas, esto es lo que constituye la validación comercial.

Para efectuar la cobertura plástica del suelo se utilizaron acolchadoras con capacidad de efectuar hasta tres hectáreas de tendido plástico por jornal, tales implementos constan de un bastidor que va enganchando a los tres puntos del elevador del tractor, cuatro discos (dos para abrir el suelo donde es depositado el plástico y dos que van tapándolo parcialmente con tierra) un portabobina y dos ruedas para darle movilidad al implemento y evitar que el plástico salga mal direccionado por efecto de viento. Implementos con tales características están disponibles para su venta en el mercado nacional. El riego fue hecho por superficie en los cuatro cultivos utilizando las prácticas de manejo de cada agricultor. El cultivo de tomate fue desarrollado en charolas de poliestireno expandido utilizando como sustrato musgo y se transplantó con cepellón; en pepino, sandía y algodón se hizo siembra directa; el control químico de plagas y enfermedades se realizó dos, siete, ocho y nueve veces en sandía, algodón, pepino y tomate respectivamente. La fertilización nitrogenada en tomate y algodón se aplicó en dos aportaciones: mitad antes del trasplante y el complemento al iniciarse la floración; en pepino se aplicó la mitad antes de la siembra, 1/4 al iniciarse la floración y el complemento a mitad de la cosecha; en sandía se aplicó la totalidad del nitrógeno antes de la siembra (Cuadro 1). La fertilización con base de fósforo y potasio fue aplicada en su totalidad antes de la siembra en pepino y del trasplante en tomate, no efectuándose aplicación alguna en algodón y sandía. La rotación de cultivos no fue registrada.

Cuadro 1. Algunas condiciones establecidas para cuatro módulos de validación semicomercial.

Estado	Cultivo	Variedad	Fecha de siembra	Plantas ha ⁻¹	Fertilización			Poliétileno		
					N ¹⁾	P ₂ O ₅ ²⁾	K ₂ O ³⁾	A ⁴⁾	E ⁵⁾	
				No.	- -	kg ha ⁻¹	- -	m	μ	kg ha ⁻¹
Sinaloa	Tomate	Floradade	24-XI-84	21067	427	289	289	1.2	37.5	315
	Pepino	Poinsett 76	1-XI-84	55000	240	240	102	1.2	40.0	341
Baja Cali- fornia Sur	Algodonero	Delta pine 80	29- I-85	66667	330	000	000	1.5	37.5	350
	Sandía	Charleston gray	28- I-85	4167	23	000	000	1.2	37.5	160

- 1) Fue fraccionado en dos aportaciones en tomate y algodón, tres en pepino, en sandía fue aplicado en su totalidad antes de la siembra.
 2) y 3) Fueron aplicados antes de la siembra o trasplante
 4) y 5) Ancho y espesor respectivamente.

En las parcelas estudiadas con el uso de acolchado, los cultivos fueron llevados paralelamente con una misma superficie del cultivo tradicional, con los cuales fueron comparados los resultados obtenidos.

En el presente estudio, reportamos los resultados obtenidos en cuatro cultivos: tomate, pepino, sandía y algodón. Los dos primeros fueron estudiados puesto que son dos de los más importantes cultivos en el Valle de Culiacán, Sinaloa donde se provee mercado nacional y constituyen dos importantes productos de exportación a los Estados Unidos. Los dos últimos fueron implementados en los Planes, B.C.S. y son dos importantes cultivos en dicha entidad.

En el Cuadro 1, se encuentran algunas condiciones de desarrollo usadas para los cuatro módulos de validación semicomercial.

Para la elaboración del análisis económico se consideraron los siguientes aspectos: preparación del suelo, siembra y fertilización, labores al cultivo, fitosanidad, riegos, cosecha, labores de acolchado y costo del polietileno. Para reducir el costo por ha en cada cultivo, se desglosó cada concepto en mecanización y/o

mano de obra, obteniéndose en el primer caso el número de veces que se realizó la labor, las horas, el costo por hora y el costo por ha de maquinaria; en el segundo caso se tomó en cuenta el número de veces que se realizó la labor, las jornadas y el costo por una jornada de mano de obra. Otros conceptos utilizados, son los referentes a insumos y gastos varios. El primero de los conceptos incluye: insecticidas, fungicidas, herbicidas, fertilizantes, nutrimentos menores, etc. En gastos varios se incluyeron por ejemplo permiso de exportación, impuestos y gastos de seguro social cuando fue necesario. Con los conceptos mencionados fueron obtenidos separadamente los costos de producción por ha en suelo acolchado y en suelo desnudo.

RESULTADOS Y DISCUSION

La fecha de inicio de recolección, el rendimiento y el número de riegos están enlistados en el Cuadro 2. La producción de tomate y pepino se desglosó en producto exportable y de consumo nacional; en las parcelas de tomate con acolchado la producción se incrementó en 8.25 ton (47.1%) de producto exportable y 3.53 ton ha⁻¹ para producto de consumo nacional (47.1%) respecto del testigo,

Cuadro 2. Efecto del acolchado en la anticipación a cosecha, el rendimiento y el número de riegos.

Cultivo	Tratamiento	Inicio cosecha	Rendimiento		Total	Riegos
			Expor- table	Consumo nacional		
			- - - -	ton ha ⁻¹	- - - -	- No -
Tomate	Acolchado	28-Ene.	25.75	11.03	36.78	6
	Testigo	28-Ene.	17.50	7.50	25.01	7
Pepino	Acolchado	26-Ene.	27.46	21.16	48.62	7
	Testigo	26-Ene.	17.34	10.42	27.76	7
Algodón	Acolchado	25-Jul.			4.28	5
	Testigo	25-Jul.			1.38	5
Sandía	Acolchado	15-Mayo			25.00	8
	Testigo	31-Mayo			15.00	8

mientras que en pepino los incrementos fueron de 10.12 ton, (58.4%) y 10.74 ton/ha (103.1%) para exportación y consumo nacional, respectivamente. De estos resultados se deduce que el acolchado, incrementa la producción exportable, reuniendo las características de las normas americanas, principal mercado de exportación de tomates y pepinos de México; paralelamente, se observa un incremento en la producción para consumo nacional.

En cuanto a rendimiento total, el cultivo de tomate con acolchado superó al testigo en 11.77 ton ha⁻¹ (47.1%) en tanto que en el cultivo de pepino el suelo con cubierta plástica registró 48.62 ton ha⁻¹, superando al testigo en 20.86 ton ha⁻¹ (75.1%).

En algodón, el acolchado ofreció una ganancia substancial de 2.9 ton ha⁻¹ lo que significa un aumento del 210%, en relación con el testigo mientras que el cultivo de sandía con cobertura plástica registró 10.0 ton ha⁻¹ adicionales en relación con el testigo que promedió 15.0, lo que representa una ganancia del 66.7%. Nuestros resultados concuerdan con los obtenidos por Ibarra y Rodríguez (1982 b y c) y Fierro (1988).

En las dos entidades de estudio, los cuatro agricultores fueron comunicados de las

ventajas que ofrece el acolchado en la anticipación a cosecha. Solamente el productor de sandía reportó 16 días de adelanto en la producción en cuyo período obtuvo 5.0 ton ha⁻¹ (Cuadro 2); el adelanto en la producción fue tomado como ventaja, ya que el precio de venta fue superior al resto de la producción en 66.7% (50 vs 30 pesos kg⁻¹). Nuestros resultados concuerdan con la anticipación a cosecha en sandía reportada por Hernández (1984), Fierro (1988) y Ramos (1988).

El productor de pepino observó una ligera respuesta de la anticipación del producto, sin embargo no fue tomada como ventaja ya que en ese caso, el agricultor tendría que recurrir al pago de jornales para la recolección, acarreo y empaque del producto obtenido en una hectárea, en cuyo caso, solamente se justificará si el agricultor posee un mayor número de hectáreas con acolchado para efectuar tales labores. Lo anterior es cierto si tomamos como base el productor de pepino que poseyó una hectárea acolchada de veinte en el sitio donde fue validado el cultivo.

Los productores de tomate y algodón no observaron ninguna respuesta del acolchado plástico a la anticipación a cosecha. Rodríguez *et al.* (1986), obtuvieron resultados

similares en tomate argumentando que dicho cultivo responde favorablemente a los aporques, lo que provoca que las plantas emitan una gran cantidad de raíces, favoreciendo el desarrollo vegetativo. En suelo con cobertura plástica esta labor no se realiza.

En cuanto al número de riegos, solamente el productor de tomate reportó el ahorro de uno (6 en acolchado, 7 en testigo) al utilizar el acolchado de suelos. Ibarra y Rodríguez (1982a) reportaron ahorro de agua en sandía acolchada en una prueba de cultivares regada al 70% de abatimiento de la humedad aprovechable. Contrariamente Hernández (1984) no observó ahorro de agua en sandía acolchada, argumentando una mayor cobertura de planta, diámetro de tallo y longitud de guías en favor de la cubierta plástica.

Los productores de pepino, sandía y algodón, coincidieron en que la forma de reparto del agua y/o el bajo número de superficie con cubierta plástica, les impidió, hasta cierto grado, emplear algún criterio para efectuar el suministro de agua.

Las variaciones que ocurren en los costos de producción al emplear acolchado plástico,

se muestran en el Cuadro 3. Se observó que el acolchado afecta la mayoría de los conceptos, excepto las labores preparatorias del suelo que fueron las mismas para el acolchado y testigo, las labores de fitosanidad, lo que significa que el control preemergente y la incidencia de enfermedades y plagas fue el mismo en suelo con y sin cubierta plástica, y el riego en tres de los cuatro cultivos.

En el caso del algodón los costos de producción por concepto de siembra y fertilización fueron superiores en 121.6% en relación con el testigo, debido a que la siembra en ese cultivo en suelo acolchado fue realizada manualmente, para proporcionar igualdad de competencia entre plantas como en el testigo, cuya siembra se hizo mecánicamente; contrariamente, en el caso de la sandía, los costos por el mismo concepto disminuyeron en 27.5% puesto que en suelo acolchado no se efectuó resiembra, por disponer del número óptimo de plantas ha^{-1} , debido a su efecto positivo en la germinación, en tanto que en el testigo dicha labor se efectuó una vez. No fueron registrados cambios en los costos de tomate y pepino por ese concepto.

Cuadro 3. Efecto del acolchado sobre los costos de producción de cuatro cultivos establecidos en el noroeste de México.

Cultivo	Labores de acolchado ¹⁾	Costo de polietileno ²⁾	Siembra y fertilización	Labores al cultivo	Riegos	Cosecha
			%			
Tomate	0.6	2.5	()	- 121.3	- 20.0	46.7
Pepino	1.6	4.9	()	- 70.0	()	60.9
Algodón	7.2	29.1	121.6	- 65.3	()	191.9
Sandía	13.7	21.1	-27.5	- 33.8	()	66.6

No se incluyen los costos de preparación del suelo y fitosanidad que fueron los mismos en suelo con y sin cobertura plástica.

() Sin cambios en los costos de producción.

1) y 2) Están referidos al costo de producción ha^{-1} .

Para el caso de labores al cultivo (deshierbes manuales y con herbicidas; aporques con tracción animal y mecánica), los costos se vieron disminuidos al utilizar el acolchado plástico. Por ejemplo, el número de aporques en los tratamientos testigo fue de 4,3,2 y 1 para tomate, pepino, algodón y sandía respectivamente, en tanto que en suelo acolchado no fue realizado ninguno. Cuando el suelo estuvo libre de acolchado, se realizaron 4 deshierbes en tomate y 2 en pepino, en tanto que en suelo con cobertura plástica, esta labor se efectuó dos veces en cada cultivo. Los deshierbes en suelo acolchado solamente se hicieron entre camas (superficie sin cobertura plástica) de los cuatro cultivos, lo que sirvió para disminuir el número de jornales ha^{-1} y la cantidad de herbicidas empleados.

Los gastos de cosecha en el suelo acolchado los aumentaron en 46.7% en tomate, 60.9% en pepino, 191.9% en algodón y 66.6% en sandía. Lo anterior era de esperarse, ya que el número de jornales requeridos para cosechar una hectárea son mayores, por la mayor cantidad de producto obtenido.

Los costos de labores de acolchado variaron desde 0.6% en tomate, hasta 13.7% en sandía (Cuadro 3), los valores que aparecen en dicha columna están referidos con relación a los costos de producción en suelo acolchado; lo mismo sucede en el costo del polietileno que varió desde 2.5% en tomate hasta 29.1% en el caso del algodonoero.

En el Cuadro 4 se presentan las variaciones en el número de jornales, los costos de producción y el beneficio económico, por el empleo del acolchado de suelos. Dos beneficios son inmediatamente aparentes. El primero es de naturaleza social y se refiere a que el acolchado de suelos puede incrementar las oportunidades de "empleo potencial" en 12.7, 158.2 y 25.3% en pepino, algodón y sandía. En tomate, el promedio de labores ha^{-1} disminuyó en 5% al utilizar el acolchado plástico. El segundo beneficio es para los agricultores. El beneficio del plástico incrementó el económico en 143.8, 112.0, 653.8 y 96.9% en los cultivos de tomate, pepino,

algodón y sandía respectivamente, ese beneficio lo determinan primeramente los precios de las cosechas, el rendimiento y los costos de producción por hectárea. Los resultados del susodicho cuadro son relevantes, para gravar el impacto del acolchado plástico.

Cuadro 4. Efecto del acolchado en el cambio en número de jornales, los costos de producción y el beneficio económico.

Cultivo	Jornales	Costo de Producción	Beneficio económico
		%	
Tomate	- 5.0	31.4	143.8
Pepino	12.7	33.9	112.0
Algodón	158.2	118.2	653.8
Sandía	25.3	58.2	96.9

Sin excepción el acolchado plástico incrementó la producción en 47.1, 75.1, 209.6 y 66.7% en los cultivos de tomate, pepino, algodón y sandía. Existe una falta de simetría en porcentaje entre beneficio económico y rendimiento; una de las razones para esa falta de simetría, la constituye el hecho de que el acolchado plástico no solamente eleva el rendimiento y suprime parcialmente las labores al cultivo, sino que también incrementa los costos de producción. Los rangos de incremento en los costos fueron de 31.4, 33.9, 118.2 y 58.2% en tomate, pepino, algodón y sandía; para este último cultivo, otra de las razones para la falta de simetría la constituye la producción precoz en suelo acolchado que obtuvo un precio adicional.

CONCLUSIONES

El acolchado incrementó el rendimiento en los cultivos de tomate, pepino, algodón y sandía y el beneficio económico de los agricultores. Al efectuar el acolchado de suelos, el mayor beneficio se obtuvo en el

cultivo del algodnero con 653.8% de incremento en relación con el testigo, por lo que su acolchado podría ser sugerido entre los productores de ese cultivo.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a la Organización de las Naciones Unidas el apoyo financiero recibido para la realización del presente estudio.

LITERATURA CITADA

FIERRO R., I. 1988. Efecto del acolchado y la fertilización nitrogenada fraccionada en el cultivo de sandía (*Citrullus lanatus* E.) desarrollada en túneles bajos. Instituto de Ciencia y Cultura, A.C. Saltillo, Coahuila (Tesis de Licenciatura).

HERNANDEZ D., J. 1984. Respuesta de cultivo de sandía (*Citrullus lanatus* E.) a tres factores de la producción: acolchado de suelos, fertilización nitrogenada y fertilización fosfatada. Universidad Autónoma Agraria "Antonio Narro". Buenavista, Saltillo, Coahuila (Tesis de Maestría).

IBARRA J., L., A. RODRIGUEZ P. 1982a. Evaluación agronómica de dos cultivares de sandía. Reporte Interno. Centro de Investigación en Química Aplicada. Saltillo, Coahuila.

IBARRA J., L., A. RODRIGUEZ P. 1982b. Estudio comparativo de rendimiento del cultivo de tomate bajo acolchado por un período de dos años. Reporte Interno. Centro de Investigación en química aplicada. Saltillo, Coahuila.

IBARRA J., L., A. RODRIGUEZ P. 1982c. El cultivo de pepino con acolchado. Reporte Interno. Centro de Investigación en Química Aplicada. Saltillo, Coahuila.

RAMOS F., C.E. 1988. Acolchado de sandía (*Citrullus lanatus* E.) en microtúneles e intemperie y su influencia en el consumo de agua. Universidad Autónoma Agraria "Antonio Narro". Buenavista, Saltillo, Coahuila (Tesis de Licenciatura).

RODRIGUEZ P., A., J.A. OLMOS, L. IBARRA J. 1986. Cultivo de tomate cv. florada de bajo acolchado de suelos en: invernadero, microtúneles semicirculares, triangulares e intemperie. Reporte Interno. Centro de Investigación en Química Aplicada Saltillo, Coahuila.

DISEÑO Y CALIBRACION DE UN ATMOMETRO PARA ESTIMAR EL DEFICIT HIDRICO DEL SUELO BAJO CONDICIONES DE CAMPO

Desing and Calibration of an Atmometer to Estimate the Soil Water Defficit Under Field Conditions

Marco A. Inzunza I. y Enrique Palacios V.

CENID-RASPA-INIFAP, Apartado Postal # 41,
35150 Cd. Lerdo, Dgo.

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

Palabras clave: Humedad aprovechable residual, Índice de área foliar, Modelo de calibración, Desarrollo vegetativo relativo.

Index words: Atmometer, Residual available moisture, Leaf-area index, Calibration model, Relative vegetative development.

RESUMEN

El presente trabajo fue realizado en un experimento de maíz (1985), en Montecillos, México y su objetivo principal fue estimar la humedad aprovechable residual en el suelo bajo la cual se desarrolló el mencionado cultivo, a partir de la indicación directa de atmómetros.

Los resultados mostraron que dicho dispositivo realiza una aceptable predicción de esta variable, cuando se relaciona la humedad aprovechable residual, como variable dependiente con la lectura directa del atmómetro y el desarrollo vegetativo relativo del cultivo como variables independientes, o bien, el índice de área foliar (IAF), en lugar de este último, para lograr generalizar el

modelo de calibración. El modelo que mostró mayor bondad predictiva en la calibración fue el potencial de dos variables independientes.

SUMMARY

This study was performed during a maize experiment in 1985 at Montecillos, state of Mexico. It's main goal was to measure the residual available soil moisture under which this crop develops, based on direct readings from an atmometer. The results showed that the device provides acceptable predictions of this variable when residual available moisture, as a dependent variable, is related to a direct reading of the atmometer and the relative vegetative development of the crop as independent variables (or even using the leaf-area index instead of the latter), in order to achieve the generalization of the calibration model. The model showing a higher predictive validity in the calibration was the power model of two independent variables.

INTRODUCCION

Uno de los diversos factores que ocasionan los bajos rendimientos de los cultivos en las

Recibido 11-90.

zonas de riego del país, es frecuentemente la insuficiente cantidad de agua que éstas reciben para su proceso evapotranspirativo y además que ésta no se proporciona con la oportunidad requerida para su normal desarrollo. Un primer paso a la solución de este problema es sin duda conocer las condiciones de humedad en el suelo, de una manera rápida y con precisión aceptable, bajo el cual se desarrollan los cultivos. Los métodos con que se cuenta para realizar su estimación a nivel comercial son imprácticos y costosos. Por lo tanto la calibración de atmómetros para condiciones de campo, tiene como objetivo cubrir lo antes referido al estimar la humedad aprovechable residual del suelo a partir de la contabilización del agua evaporada a través de los atmómetros.

REVISION DE LITERATURA

Stanhill (1958) deduce que a pesar de que se han descrito muchos métodos para la medición de la humedad del suelo, pocos son prácticos para su uso en las labores de riego comercial; cita a los tensiómetros y a los bloques de resistencia eléctrica como los más usados a nivel comercial, sin embargo, señala que tienen la desventaja de que operan satisfactoriamente cubriendo solamente una parte del rango de la humedad aprovechable para las plantas. Manifiesta que una ventaja importante de este método es que puede ser usado en cualquier clase de cultivo y tipo de suelo, sin embargo, tiene que calibrarse para cada caso.

Tanner (1967), señala que los tanques de evaporación y los atmómetros son los primeros intentos para la estimación de la evaporación en el balance de agua de cuerpos de agua; en estos casos se asume que las condiciones de demanda de la atmósfera son el factor predominante en la determinación de la tasa evapotranspirativa y que los factores debidos a la planta y el suelo son de una importancia secundaria, una vez que la superficie del suelo es cubierta por el área foliar, se asume además, que la evapotranspiración potencial es la misma para diferentes cultivos y suelos.

Winter (1961) advierte que estos instrumentos sobreestiman el déficit de humedad en el suelo cuando el área foliar cubre completamente el terreno y propone para una primera corrección, reducir el área efectiva evaporativa de dicho aparato, lo cual puede estudiarse mediante experimentación. Además, señala que estos instrumentos no obtienen una buena precisión, sin embargo, comercialmente se obtiene una aproximación de más o menos media pulgada del contenido de agua en el suelo, lo cual se considera aceptable ya que es raro encontrar equipo que se use a nivel comercial que obtenga tal precisión.

Stanhill (1958) diseñó un atmómetro, con el cual simuló el sistema suelo-planta-atmósfera, compuesto por un tanque que contenía agua y un disco de cerámica interconectados; señaló que la evaporación simula la evapotranspiración y que la lectura del aparato proporciona una indicación directa del déficit de humedad del suelo en el cual crecen las plantas. Encontró una relación lineal entre el volumen de agua evaporada mensualmente a través del disco poroso y la evapotranspiración mensual del cultivo de tomate creciendo en lisímetros. Concluye, que los resultados obtenidos usando este instrumento, tanto en campo como en invernadero, demuestran que es al menos tan exacto como otros métodos existentes para uso comercial.

Stanhill (1958) fabricó un atmómetro para obtener una indicación directa del déficit hídrico en el suelo; señala que las limitaciones técnicas de estos aparatos son las mismas que tiene el método de balance de agua; en estos casos se asume que las condiciones de demanda de la atmósfera son el factor predominante en la determinación de la tasa evapotranspirativa y los factores debidos a la planta y el suelo son de importancia secundaria, una vez que la superficie del suelo es cubierta por el área foliar; se asume además, que la evapotranspiración potencial es la misma para diferentes cultivos.

Por su parte Alvarez (1983) trabajando en frijol creciendo en recipientes y Zermeño

(1984) en cebada bajo condiciones de campo, realizaron dos calibraciones de un atmómetro el cual se diseñó de acuerdo al reportado por Stanhill (1958). Estos autores obtuvieron dos modelos con un aceptable ajuste, cuando se relacionó la humedad aprovechable residual del suelo como variable dependiente, y la contabilización del agua evaporada de los atmómetros, el desarrollo vegetativo relativo y el índice de área foliar del cultivo, como variables independientes. Se reporta que las diferencias existentes entre los modelos obtenidos en dicha calibración se debieron principalmente a las diferentes condiciones de desarrollo de los cultivos.

Por otro lado, es importante considerar el índice de área foliar del cultivo, con respecto al régimen de humedad del suelo a que éste es sometido durante su desarrollo, ya que se reduce o aumenta su área foliar, afectando

de esta manera los procesos transpirativo y fotosintético principalmente. Norero (1984) define el índice de área foliar como la relación adimensional entre el área de las hojas y la superficie del suelo que cubre el cultivo.

MATERIALES Y METODOS

El atmómetro citado por Alvarez (1983) cuenta con dos componentes principales: a) cápsula evaporante y b) recipiente almacenador de agua e indicador del nivel de ésta (Figura 1).

La cápsula evaporante por analogía, simula el conjunto de hojas de una planta, ya que responde a la demanda evapotranspirativa de la atmósfera en forma similar. Consiste de un disco de cerámica porosa blanca, de 7.8 cm de

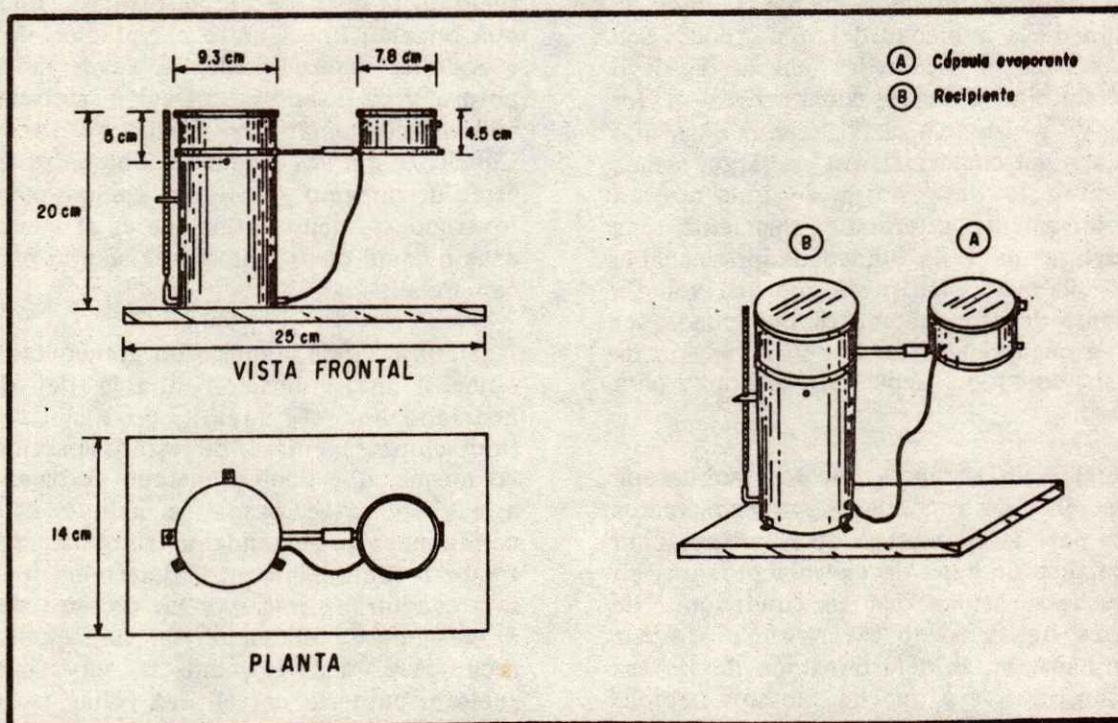


Figura 1. Representación esquemática del atmómetro que se utilizó en el experimento de maíz. Fuente (Alvarez 1983).

diámetro y 0.65 cm de espesor, el cual está contenido en un cilindro de material plástico transparente (lucita) pintado de color blanco. Este recipiente cilíndrico presenta dos orificios diametralmente opuestos con el propósito de mantener una intercomunicación permanente mediante una manguera plástica, con el recipiente almacenador de agua y el otro permitir la purga del aire dentro del sistema. El recipiente almacenador de agua, este componente es igualmente de forma cilíndrica con un diámetro interno de 9.5 cm y una altura total de 20.0 cm, analógicamente correspondería a la capacidad de almacenamiento de agua del suelo. A una altura de 1 cm del fondo se encuentra una salida tubular con la finalidad de conectarse por medio de una manguera plástica a la cápsula evaporante. El material con el cual se construyó es de lámina galvanizada.

En un costado del recipiente se le colocó un espía de nivel con una escala graduada en milímetros en forma descendente de 100 a 0.0 milímetros.

El nivel del agua dentro del recipiente siempre se encuentra por debajo del nivel dentro de la cápsula evaporante, por lo cual se tiene una tensión sobre el lado interno del disco de cerámica. Para mantener el aparato en funcionamiento es necesario que la fuerza con la cual la cápsula retiene el agua sea mayor. De acuerdo a lo anterior, a medida que el aparato responde a la demanda evaporativa de la atmósfera, la cápsula cederá agua a ésta y por lo tanto el nivel dentro del recipiente disminuirá, en virtud del establecimiento de un gradiente de potencial en el sistema recipiente almacenador-tubo de plástico-cápsula-disco poroso-atmósfera al ir bajando el nivel del agua dentro del recipiente almacenador, la tensión en el disco poroso aumenta y en consecuencia el flujo en el sistema disminuye. Esta situación simula lo que ocurre en el suelo al disminuir el contenido de humedad, ya que disminuye la absorción de agua por la planta. La operación de los aparatos consistió en llevarlos a su

máximo nivel (lectura=100) al regarse los tratamientos correspondientes y tomar lecturas diarias del nivel de agua en el recipiente almacenador. Estas lecturas se relacionaron con los valores de humedad aprovechable residual que se determinaron por medio del muestreo gravimétrico.

Ubicación de los atmómetros en las parcelas experimentales. Se colocaron seis atmómetros de características similares en una repetición del experimento de maíz (1985); estos aparatos fueron ubicados en seis diferentes tratamientos de los 12 resultantes de la matriz San Cristóbal para tres factores, propuesta por Rojas (1963). La selección de tales combinaciones se realizó con la intención de que se lograra cubrir prácticamente todo el rango de humedad aprovechable residual del suelo. Los tratamientos referidos son los siguientes: 1(77, 78, 78), 8(18, 22, 17), 9(28, 32, 29), 10(8, 32, 29), 11(28, 22, 29) y el 13(2, 4, 1), donde el valor fuera del paréntesis es el número de tratamientos y los números dentro, se refiere al valor de la humedad aprovechable residual en el suelo en las etapas vegetativa, reproductiva y de maduración del maíz en el citado experimento. Los atmómetros se colocaron dentro de las parcelas experimentales en su correspondiente tratamiento, sobre bases metálicas deslizables, con el objeto de darle mayor altura a éstos, a medida que el cultivo se desarrollaba. De esta manera los atmómetros se colocaron a la altura de la cobertura vegetal durante el desarrollo del cultivo.

Medición del índice de área foliar. Durante el desarrollo del cultivo y con una periodicidad de 10 días se realizaron mediciones de área foliar con la finalidad de obtener el índice de área foliar (IAF); para obtener el área foliar y no destruir las plantas, se utilizó el procedimiento de correlacionar el producto obtenido de multiplicar el largo por el ancho de la hoja con mediciones del área foliar obtenido por medio de un integrador de áreas.

RESULTADOS Y DISCUSION

Indice de área foliar (IAF). Los valores del IAF obtenidos durante el desarrollo del cultivo se presentan en el Cuadro 1. En éste se observa que a los 39 días después de la germinación, las diferencias en este índice son apreciables, el máximo valor alcanzado por éste se detectó a los 89 días después de la germinación del maíz. Los valores del IAF fueron ajustados a un modelo matemático de tipo cúbico sin el término lineal.

$$IAF = \beta_0 + \beta_2 DVR^2 + \beta_3 DVR^3 + \epsilon \dots (1)$$

donde:

DVR = desarrollo vegetativo relativo

$\beta_0, \beta_2, \beta_3$ = coeficientes de la regresión

Las ecuaciones ajustadas para cada tratamiento, se presentan en el Cuadro 2. Cuando se realiza la integración de estas funciones (desde el tiempo de la emergencia hasta la madurez del maíz en términos

relativos), proporciona el índice de área foliar medio (IAFM) de los tratamientos estudiados, los cuales se presentan en el mismo Cuadro 2. Al analizar este cuadro se observa que el mayor IAFM correspondió al tratamiento de mayor disponibilidad de agua en el suelo durante el desarrollo del cultivo y el valor más bajo al tratamiento que se sometió a déficit hídricos severos.

Obtención de las ecuaciones de calibración del atmómetro. Con el fin de estimar la humedad aprovechable residual del suelo a partir de la lectura del atmómetro, se buscó, con la técnica de la regresión, un modelo que logrará una predicción satisfactoria de dicha variable. El modelo obtenido es del tipo potencial, en el cual se consideró, además de las variables mencionadas, el desarrollo vegetativo del maíz en términos relativos. De esta manera, la humedad aprovechable residual fue la variable dependiente y la lectura del aparato y el desarrollo vegetativo relativo a las variables independientes.

El modelo general es de tipo:

Cuadro 1. Valores del índice de área foliar.

Trat.	29*	39	49	60	69	80	89	100	110	121	132	142
	0.200**	0.269	0.338	0.414	0.474	0.552	0.614	0.696	0.759	0.841	0.910	0.979
1	0.23	1.71	2.63	3.43	4.01	4.98	5.77	5.15	4.98	4.20	3.01	1.83
2	0.21	1.69	2.40	3.24	3.87	4.78	5.21	4.66	4.13	3.59	2.01	1.03
3	0.22	1.54	2.15	3.01	3.49	4.01	4.71	3.98	4.00	3.21	1.87	0.55
4	0.19	1.49	2.05	2.91	3.37	3.75	4.31	3.87	3.62	3.01	1.94	0.51
5	0.18	1.14	1.68	2.21	2.59	3.01	3.24	3.18	2.99	2.32	1.49	0.71
6	0.15	1.02	1.51	2.01	2.39	2.71	2.97	2.81	2.69	2.17	1.33	0.52
7	0.17	0.97	1.39	1.83	2.27	2.53	2.61	2.68	2.54	2.11	1.52	0.70
8	0.14	0.93	1.29	1.72	2.18	2.37	2.67	2.61	2.49	2.09	1.41	0.67
9	0.21	1.42	1.97	2.74	3.06	3.38	3.57	3.49	3.19	2.61	1.85	0.61
10	0.16	0.84	1.01	1.58	1.91	2.24	2.41	2.31	2.23	1.82	0.97	0.41
11	0.18	1.07	1.37	1.93	2.28	2.54	2.72	2.63	2.57	1.81	1.22	0.31
12	0.19	1.36	1.85	2.20	2.63	3.19	3.25	3.26	3.06	2.25	1.63	0.83
13	0.25	0.67	0.91	1.33	1.50	1.70	1.83	1.74	1.59	1.27	0.53	0.10

* Tiempo transcurrido a partir de la germinación (días)

** Tiempo transcurrido relativo (DVR)

Cuadro 2. Ecuaciones para el IAF, IAFM y rendimientos medios.

Trat.	Ecuaciones	R ²	CV(%)	IAFM (Adim)	Rendimiento (ton/ha) grano	Rendimiento (ton/ha) materia seca
1	IAF= -0.452 + 37.086 DVR ² -35.859 DVR ³	0.96	9.89	3.85	8.089	14.682
2	IAF= -0.440 + 36.075 DVR ² -36.049 DVR ³	0.96	10.03	3.39	7.872	13.692
3	IAF= -0.366 + 32.056 DVR ² -32.021 DVR ³	0.97	10.12	3.00	7.682	13.032
4	IAF= -0.290 + 29.753 DVR ² -29.711 DVR ³	0.97	9.55	2.77	7.129	12.899
5	IAF= -0.189 + 22.722 DVR ² -22.512 DVR ³	0.97	9.08	2.15	10.165	12.724
6	IAF= -0.189 + 22.722 DVR ² -22.512 DVR ³	0.97	8.61	1.98	9.140	12.291
7	IAF= -0.135 + 18.657 DVR ² -18.277 DVR ³	0.98	7.80	1.81	6.837	11.235
8	IAF= -0.210 + 18.611 DVR ² -18.207 DVR ³	0.98	7.47	1.84	6.347	9.014
9	IAF= -0.063 + 24.920 DVR ² -24.899 DVR ³	0.96	10.58	2.19	9.986	12.189
10	IAF= -0.237 + 17.519 DVR ² -17.380 DVR ³	0.98	8.53	1.70	8.874	10.825
11	IAF= -0.138 + 19.607 DVR ² -19.700 DVR ³	0.97	9.10	1.76	6.238	10.315
12	IAF= -0.048 + 22.178 DVR ² -21.995 DVR ³	0.95	10.37	1.99	7.285	12.140
13	IAF= -0.028 + 12.844 DVR ² -13.155 DVR ³	0.98	8.79	1.04	1.523	6.134

$$\text{HAR} = \beta_0 * (\text{LEC})^{\beta_1} * (\text{DVR})^{\beta_2} + \epsilon \quad \dots (2)$$

donde:

HAR = humedad aprovechable residual (%)

LEC = lectura del instrumento (mm)

DVR = desarrollo vegetativo relativo del
maíz (adim)

$\beta_0, \beta_1, \beta_2$ = coeficientes de la regresión

ϵ = error aleatorio

Con los valores del DVR, IAF y LEC para cada tratamiento ensayado y en el orden de la HAR decreciente en cada tratamiento (o sea 78, 32, 22, 11 y 4% de HAR) con su correspondiente LEC y desarrollo vegetativo relativo, se realizó un análisis de regresión múltiple, lográndose la estimación de los coeficientes β_0 , β_1 y β_2 , resultando la siguiente función ajustada:

$$\text{HAR} = 2.5 * 10^{-6} (\text{LEC})^{3.383} * (\text{DVR})^{-0.87} \dots \dots (3)$$

De acuerdo a su bondad predictiva y sus estadísticas aceptables se concluye que la ecuación obtenida es satisfactoria para estimar la humedad aprovechable residual del suelo.

Sin embargo, la función anterior puede considerarse limitada para las características de desarrollo del maíz. Con el fin de generalizar la estimación de la HAR a otros cultivos de necesidades hídricas similares, se correlacionó el índice de área foliar (IAF) en lugar del desarrollo vegetativo relativo del maíz. Los valores del IAF utilizados para tal fin son los mostrados en el Cuadro 1 y fueron estimados a partir de las ecuaciones ajustadas para esta variable que se presentaron en el Cuadro 2.

Al considerar los seis tratamientos donde se colocaron los atmómetros para su calibración, fue obtenida la siguiente función que se considera más generalizada:

$$\text{HAR} = 2.0 * 10^{-7} * (\text{LEC})^{4.336} * (\text{IAF})^{0.098} \dots \dots (4)$$

donde las variables ya fueron definidas.

Es necesario relacionar la humedad aprovechable residual con el índice de área foliar por el hecho que en el sistema suelo-planta el área evapotranspirante es variable a través del tiempo, mientras que la superficie

evaporante del atmómetro se mantiene constante en el tiempo.

La importancia de la obtención de las funciones 3 y 4 radica en que con el diseño del disco evaporante con un control de calidad riguroso, se puede lograr en dichas zonas de producción una estimación adecuada y rápida del déficit hídrico bajo el cual se desarrollan los cultivos; con lo anterior se tendrían bases más firmes para mejorar la productividad del recurso agua al incrementarse los rendimientos como respuesta de proporcionar en forma más adecuada dicho recurso a las plantas.

CONCLUSIONES

- a) Con los atmómetros se observó una aceptable estimación de la humedad aprovechable residual del suelo bajo el cual se desarrollan los cultivos, al relacionar esta variable con la lectura del aparato y el desarrollo vegetativo relativo o el índice del área foliar del cultivo, por medio del modelo potencial de dos variables independientes.
- b) Se sugiere proseguir con los estudios de los atmómetros, para esto se recomienda diseñarles de una sola pieza, con el fin de evitar que por el ensamble de sus partes se originen burbujas de aire y por consecuencia que la cápsula deje de funcionar. Se sugiere además realizar un estricto control de calidad del disco evaporante, tratando de lograr la mayor uniformidad posible de sus características del diseño.

LITERATURA CITADA

- ALVAREZ G., F. 1983. La humedad aprovechable residual del suelo y el rendimiento del frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) en recipientes. Tesis de M.C. Centro de Hidrociencias, C.P. Chapingo, México.
- NORERO S., A. 1984. El clima y la producción de cultivos, relaciones físicas básicas. Curso de Modelos Agronómicos. CIDIAT, Mérida, Venezuela.
- ROBLES, B.A. 1963. El diseño San Cristóbal en experimentos de fertilizantes. Memorias del Primer Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo, México, D.F.
- STANHILL, G. 1958. An irrigation gauge for commercial use in field and glasshouse practice. J. Agricultural Engng Res. Vol. 3(4): 292-298.
- TANNER, C.V. 1967. Measurement of evapotranspiration. Agronomy No. 11. Chapter 29. Amer.: oc. of Agron. Madison, Wisconsin.
- WINTER, E.J. 1961. A valveless soil moisture deficit indicator. Nat Vegetable res. Station. Wellesbourne, warwick. pp: 252-255.
- ZERMENO, G.A. 1984. Respuesta de la cebada (*Hordeum vulgare* L.) a diferentes niveles de humedad aprovechable residual en el suelo en tres etapas fenológicas de su desarrollo. Tesis de M.C. Colegio de Postgraduados, Chapingo, México.

**VALIDACION DE UN MODELO DE SIMULACION DEL SISTEMA
SUELO-PLANTA-ATMOSFERA EN EL CULTIVO FRIJOL
(*Phaseolus vulgaris* L.) EN LA SIERRA DE CHIHUAHUA**

Validation of a Soil-Plant-Atmosphere System
Simulation Model In Dry Beans
(*Phaseolus vulgaris* L.) in Chihuahua's Rangers

Pedro Ortiz Franco, Felipe Orozco Viramontes y
Venancio D. Solano Romero

CIFAP-Chihuahua., Cd. Cuauhtémoc, Chih. México.

Palabras clave: Evapotranspiración, Balance hídrico.

Index words: Evapotranspiration, Hydric balance.

RESUMEN

Con el propósito de medir la precisión en el pronóstico de un modelo de simulación del sistema suelo-planta-atmósfera, en el cultivo frijol durante 1989 se seleccionaron siete sitios de medición en las áreas de Cuauhtémoc y Satevó, Chihuahua.

El modelo empleado en esta simulación fue originalmente propuesto por Rojas y Palacios (1979). Para este ciclo se consideró evaluar la precisión del modelo en el pronóstico del parámetro Humedad Aprovechable (HAi) en el estrato radical, calculado por el modelo (HAc) comparándolo con el observado en campo (HAo). Los resultados indican que en su forma original el modelo subestimó a los valores observados en 0.27 HAI, sin embargo, a partir

de este valor, el modelo pronostica aceptablemente ($r^2 = 0.74$) y con un error estándar en la estimación de 0.12.

En la práctica, esto significa que se dispone de una herramienta sencilla, rápida y económica para predecir aceptablemente el contenido de humedad de un suelo, con sólo disponer de información de lluvia y evaporación a nivel diario en el sitio de interés, además de las constantes físicas del suelo.

SUMMARY

Seven locations were selected in Cuauhtemec and Satevo, Chihuahua in 1989 to measure the accuracy of a simulation model of soil-plant-atmosphere system in dry beans.

The model used in this simulation was originally proposed by Rojas and Palacios (1979). For this cycle, the exactness of this model was evaluated according to the parameter of available moisture (HAi) in the root zone, calculated in relation to moisture for the model (HAc) in comparison to the observed moisture in the field (HAo). The results indicate that the original form of the

Recibido 11-90.

model underestimated the original values by 0.27 HAI. However, starting with this value (reading), the model forecast was acceptable ($r^2 = 0.74$) and with an estimated standard error of 0.12.

In practice this means that a simple, rapid and cheap tool is already available to predict acceptably the soil moisture content with only daily rainfall and evaporation measurements besides the physical properties of the soil.

INTRODUCCION

En la "Sierra de Chihuahua" de la superficie destinada a la agricultura, el 95% es de temporal con media de 635 mil ha anuales. El patrón de cultivos lo constituyen el maíz, frijol y avena. La superficie destinada a cada uno de estos cultivos es muy variable ya que está sujeta a la presencia de las lluvias, tanto invernales como de verano. De acuerdo a las condiciones pluviométricas, existen tres áreas diferentes para la producción de estos cultivos. Al 80% de probabilidad de ocurrencia las cantidades de lluvia invernal y de verano son como sigue: en la Alta Babicora 88 y 310 mm; en la Baja Babicora 23 y 261 mm y en el área Gral. Antel Trias, Satevó 13 y 233 mm respectivamente.

Una comparación simple de los requerimientos hídricos de los cultivos (por ejemplo: maíz, 420 mm y frijol 380 mm) con la cantidad de lluvia que aporta el clima en cada una de las áreas citadas, indica que en la mayoría de los años no se cubren las demandas evapotranspirativas de los mismos y, si a esto se le agrega que el manejo tradicional del binomio suelo-cultivo no contempla prácticas conservacionistas de agua y suelo es de esperarse que los rendimientos unitarios sean reducidos y cambiantes a través de los años, trayendo como consecuencia lógica siniestros parciales y/o totales provocados por la escasez de agua en el suelo.

El fenómeno de deficiencia de agua tiene que ver con tres factores que interactúan entre sí, que son clima-suelo-planta. El

entendimiento de la participación integrada de estos elementos como un sistema, debe ser premisa para desarrollar tecnología encaminada a usar racionalmente los recursos suelo y agua. Actualmente existen modelos computarizados que simulan el comportamiento de este sistema, lo que se requiere es comprobar su funcionamiento para condiciones locales con el fin de adecuarlo y/o modificarlo y que sirva como instrumento de planeación en la investigación y operatividad agrícola de la región.

Las salidas principales del modelo son: cálculo de humedades aprovechables a nivel diario y pronóstico de rendimiento. Debido a que en este ciclo, el cultivo sufrió daño severo por heladas, en esta primera fase, el objetivo fue medir y evaluar en el campo el grado de precisión en el cálculo de humedad aprovechable en el estrato radical en el cultivo frijol.

REVISION DE LITERATURA

La parte medular del modelo es la simulación de un balance de humedad en el suelo a nivel diario donde la oferta de agua solamente es la lluvia y la extracción de agua la efectúa la planta y la evaporación directa del suelo. Sobre esto, Norero (1982), señala que el balance hídrico es la formulación matemática de la ley de la conservación de la materia aplicada al agua en un sistema dado que puede ser de cualquier tamaño (volumen de suelo ocupado por una planta, una parcela cultivada, una cuenca hidrológica, una región, un país, etc.), y se le ha empleado para planificar el aprovechamiento de los recursos hidráulicos; identificar períodos de déficit y suficiencia de agua de un cultivo en particular; como índice climático, para analizar las fluctuaciones de humedad en el suelo y para la zonificación de cultivos en agricultura de secano.

En relación a lo anterior Rojas y Palacios (1979), desarrollaron un modelo de simulación del rendimiento en función de un balance hídrico a nivel diario y la respuesta del

cultivo a variaciones de humedad en el suelo, el cual ya ha sido probado en Zacatecas con buenos resultados Palacios *et al.* (1981), donde al comparar los rendimientos reales con los predichos por el modelo, se encontró un coeficiente de determinación $r^2 = 0.90$. Este mismo modelo fue probado en riego, donde el objetivo primordial fue simular el movimiento de agua en el suelo (Humedad aprovechable) en los cultivos maíz y frijol, concluyendo que en general el modelo sobreestima los valores reales de humedad aprovechable (Verastegui, 1987). En ambos casos los autores señalan que para emplear este modelo en una área determinada es necesario considerar valores reales locales del complejo suelo-planta-atmósfera.

Actualmente el uso de las microcomputadoras se ha hecho prácticamente una necesidad en la mayoría de las actividades científicas ya que dicha herramienta ofrece amplias y muy diversas opciones de utilización, una de estas opciones es la simulación de distintos procesos, dado que no es otra cosa que la representación de los mismos en un determinado lenguaje de programación. El modelo de simulación del rendimiento representa el sistema suelo-planta-atmósfera, el cual fue desarrollado originalmente por Rojas y Palacios (1979), escrito en lenguaje BASIC para la versión Apple II E. Posteriormente y con la finalidad de que dicho modelo fuera empleado con fines prácticos, Figueroa (1989) sugirió e implementó algunas modificaciones que permiten ahora probar opciones que no se incluían; en la actualidad el modelo está disponible en lenguaje GW-BASIC para uso en computadoras personales compatibles con I.B.M. En este trabajo se empleó el enfoque original de Rojas y Palacios (1979), el cual fue adaptado en microcomputadora Apple II E. por Cruz (1986).

MATERIALES Y METODOS

Selección de los Sitios. Las parcelas de observación y medición fueron siete, seleccionadas en base a su distribución dentro del Distrito de Desarrollo Rural 06

Cuauhtémoc, Chih., y considerando tres tipos de coloración del suelo: café rojizo (Campo Menonita No. 26, terrenos del ITA No. 24, Ejidos Tres Lagunitas y Bustillos); gris con grava (Campo Menonita No. 22) y claros arenosos (Ejido Centro Calles). Adicionalmente se seleccionó un sitio en San Antonio de los Chacón, municipio de Satevó, Chih. (suelo café rojizo).

Información de Clima. Los datos requeridos por el modelo son lluvia y evaporación a nivel diario. Se estableció tanque evaporímetro tipo "A" y pluviómetro en el Campo No. 26, ITA No. 24, Ejido Tres Lagunitas y San Antonio de los Chacón y sólo se estableció pluviómetro en los Ejidos Bustillos y Centro Calles; para estas dos localidades se tomó el dato de evaporación de Tres Lagunitas y para el Campo No. 22, se tomó evaporación y lluvia del sitio ITA No. 24.

Información de Suelos. Para determinar las características físicas, se tomaron muestras de suelo a las profundidades 0-15, 15-30 y 30-45 cm, las cuales fueron enviadas para su análisis al laboratorio de la Residencia General de Estudios de la SARH en Chihuahua. Así mismo, las características Capacidad de Campo, Densidad Aparente y Velocidad de Infiltración, fueron determinadas directamente en el campo, la primera mediante gravimetría - tiempo, la segunda mediante el método de la "bolsa" y la última con el método del infiltrómetro de doble cilindro. El punto de marchitamiento permanente fue estimado por el método propuesto por Torres (1984).

Información de Planta. Las siembras de multiplicación de semilla de la variedad Ojo de Cabra-73 y las siembras comerciales de productores de los Ejidos Tres Lagunitas y Centro Calles fueron utilizadas para obtener la información de planta requerida por el modelo siendo éstas: fecha de siembra, fecha de plena floración, madurez fisiológica, profundidad radical y rendimiento. Se usó como índice medio de área foliar el valor 3.5 correspondiente a un cultivo sin restricción de agua y nutrimentos (Orozco, 1987).

Determinación de la Lámina de Agua Aprovechable en Campo.

A partir de la siembra y con frecuencia aproximada de siete días se realizaron muestreos de humedad del suelo en tres profundidades 0-15, 15-30 y 30-45 cm con cuatro repeticiones por sitio de observación, la humedad se determinó por el método gravimétrico, se calculó la lámina de agua aprovechable a capacidad de campo (LCC) y la lámina actual de agua aprovechable (L), con las cuales se obtuvo la lámina de humedad aprovechable expresada como una fracción $\frac{L}{LCC}$

en el iésimo día para cada sitio de observación. Para mayor detalle de los cálculos de estos parámetros, se sugiere consultar Palacios (1983).

Funcionamiento del Modelo. El funcionamiento del modelo, en resumen, consiste de las siguientes partes: 1. entrada de la información relativa al suelo por estratos, así como la información relacionada con el cultivo; 2. entrada de los datos climáticos diarios; 3. simulación del proceso de entrada y distribución del agua en el suelo; 4. estimación de la evaporación del suelo y de la evapotranspiración; 5. balance diario de la humedad y cálculo del contenido medio de humedad del suelo en la zona radical (salida), almacenando el valor mínimo observado en cada etapa de desarrollo y, 6. al finalizar el ciclo, cálculo del rendimiento esperado, mediante la función de respuesta y los valores mínimos de humedad observados.

Validación y Evaluación de la Predicción del Modelo. El modelo fue validado relacionando los valores de humedad aprovechables medios en el estrato radical observados en campo contra sus similares calculados por el modelo en la fecha donde se hizo la determinación en el campo, a través de la técnica de regresión lineal simple, donde los valores observados fueron considerados como variable dependiente y los calculados como independiente, bajo el supuesto de que el valor de la pendiente tienda a 1 ($\beta \rightarrow 1$) y el intercepto a cero ($\alpha \rightarrow 0$). La evaluación del modelo se hizo primero a través de cada sitio de observación

y al final se realizó una evaluación global considerando todos los valores observados para cada localidad. La precisión se determinó en base al valor del coeficiente de determinación y el error estándar de la estimación.

RESULTADOS Y DISCUSION

Los registros de lluvia y evaporación durante el ciclo del cultivo se presentan en el Cuadro 1; en el Cuadro 2, se resume la información de las características físicas de los suelos y la información de planta en el Cuadro 3. Como se puede observar en estos cuadros, se logró la variabilidad deseada en cuanto a condiciones de clima y fechas de siembra del cultivo, no así para tipos de suelo, en donde se estima que faltó suelos arcillosos, para captar la variabilidad total de la región en cuanto a este factor, aunque lo más intenso del trabajo se dirigió a suelos franco-arenosos que son los predominantes.

Cuadro 1. Datos de precipitación, evaporación y número de días con lluvia para los sitios donde se validó el modelo de simulación del sistema suelo-planta-atmosfera, CESICH-CIFAP-CHIH.-SARH. 1989.

Localidad	No. de días con lluvia	Precip. pluvial (mm)	Evaporación (mm)
Cuauhtémoc (ITA No. 24)	28	338	336
Bustillos	32	274	377
Centro Calles	33	171	306
Tres Lagunitas	28	228	335
Campo No. 26	25	279	380
Campo No. 22	28	338	336
San Antonio de los Chacón	16	207	459

Precisión en la simulación. Como se señaló anteriormente, la precisión se evaluó en base a los contenidos de humedad aprovechable (H_{Ai}) registrados en campo comparados contra sus respectivos calculados por el modelo. Al correr el modelo se detectó, que éste simula el comportamiento de la humedad por estratos (0-15 cm) posteriormente suma las láminas de H_{Ai} considerando el desarrollo radical. Este proceso lo inicia considerando los dos

Cuadro 2. Características físicas de los suelos donde se validó el modelo de simulación del sistema suelo-planta-atmósfera. CESICH-CIFAP-CHIH.-SARH. 1989.

Localidad	Textura	Características				
		C.C. (%)	P.M.P. (%)	DA ₃ gcm ⁻³	IB cm hr ⁻¹	HAI* (adim)
Cuauhtémoc (ITA No. 24)	Franco-Arenosa	17.07	8.13	1.68	3.7	0.56
Bustillos	Arena-Franca	11.86	5.75	1.58	6.3	1.0
Centro Calles	Arenosa	7.5	3.41	1.69	27.2	0.74
Tres Lagunitas	Franco-Arenosa	16.5	7.85	1.43	2.0	0.42
Campo No. 26	Franco-Arenosa	17.6	8.0	1.43	4.41	0.20
Campo No. 22	Franco-Arenosa	14.95	7.11	1.71	8.4	0.36
San Antonio de los Chacón	Franco-Arenosa	14.93	6.8	71.47	2.61	0.91

*Nivel de humedad utilizado como punto de partida (promedio de tres estratos 0-15, 15-30 y 30-45 cm). Humedad aprovechable inicial.

primeros estratos, calculando así la lámina de HAI para esta profundidad. La inclusión de un tercer estrato la considera en función del crecimiento de la raíz.

Con la información de campo con que se alimentó el modelo, que fueron tres estratos y la profundidad de máxima intensidad de raíces (Cuadro 3), en el cálculo de la humedad aprovechable por la planta, el modelo sólo consideró los primeros dos estratos (0-30 cm), por esta razón, también para la determinación de la HAI en campo sólo se consideran en los dos primeros estratos.

La relación existente entre los valores de HAI calculados y observados de los sitios

Campo 22 y 26 se muestran en la Figura 1. La tendencia de la relación en estas dos localidades es muy similar de acuerdo al modelo de regresión de cada uno, no obstante que en el campo se encontraron diferentes características de suelo, principalmente en la infiltración del agua. De acuerdo con los parámetros de la regresión, se encontró que el modelo subestima los valores de HAI ya que cuando se calcula un valor de cero, en el campo se determinó 0.4 HAI (α), se asume que esto se debió a que en el campo no se registraron valores críticos de humedad. No obstante, existe una relación estrecha entre los valores como lo demuestran los coeficientes de determinación encontrados ($r^2 = 0.74$ y $r^2 = 0.69$), el error estándar en

Cuadro 3. Información de planta (por sitio) usada para la validación del modelo de simulación del sistema suelo-planta-atmósfera. CESICH-CIFAP-CHIH.-SARH. 1989.

Localidad	Fecha de siembra	Días a flor	Prof. radical cm	Días a Mad. Fis.
Cuauhtémoc (ITA No. 24)	27/VII	38	14.5	*
Bustillos	15/VII	38	14	*
Centro Calles	24/VII	38	12	*
Tres Lagunitas	20/VII	37	13	*
Campo No. 26	26/VII	43	16.3	*
Campo No. 22	25/VII	36	14.4	*
San Antonio de los Chacón	8/VIII	34	10	70

* El cultivo fue afectado por dos heladas continuas los días 24 y 25 de septiembre.

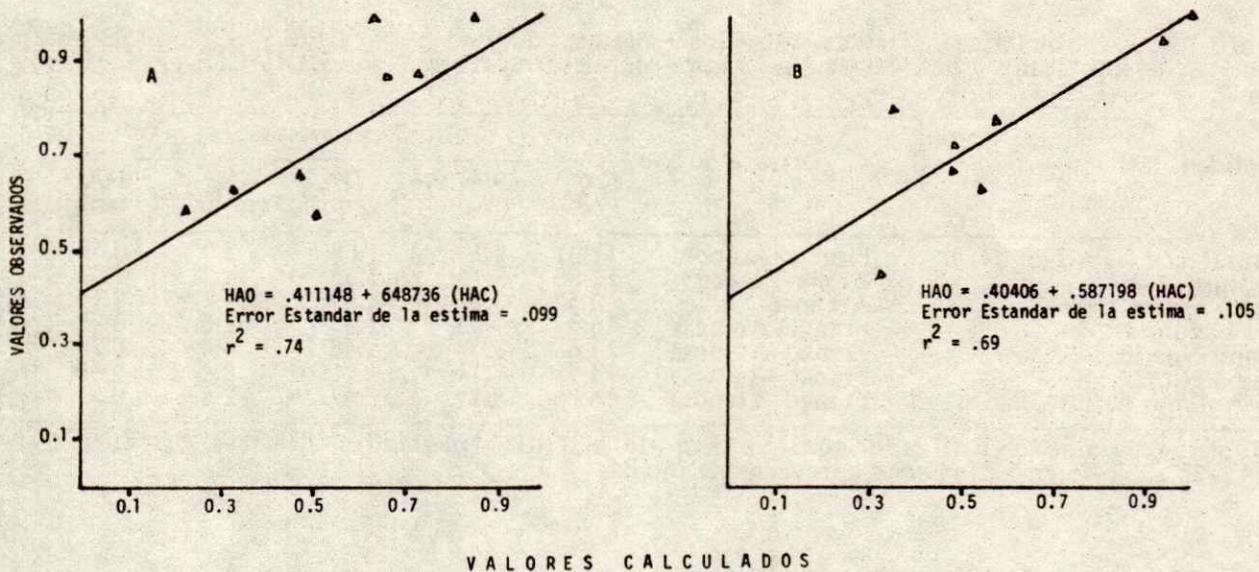


Figura 1. Relación entre la lámina de Humedad Aprovechable (HA_0), calculada por el modelo y la observada en el campo A., Campo 22 y B Campo 26. CESICH-CIFAP, CHIH.-SARH. 1989.

la estima en promedio es de 0.10, lo que significa que cualquier valor de HA_0 pronosticado, variará en ± 0.10 . En la Figura 2, se presenta la relación encontrada en San Antonio de los Chacón y Ejido Centro Calles.

Para este caso, el modelo también subestima el valor observado, no obstante los valores excelentes del coeficiente de determinación $r^2 = 0.93$ y $r^2 = 0.86$ respectivamente. En la primera localidad, se manifestó más la

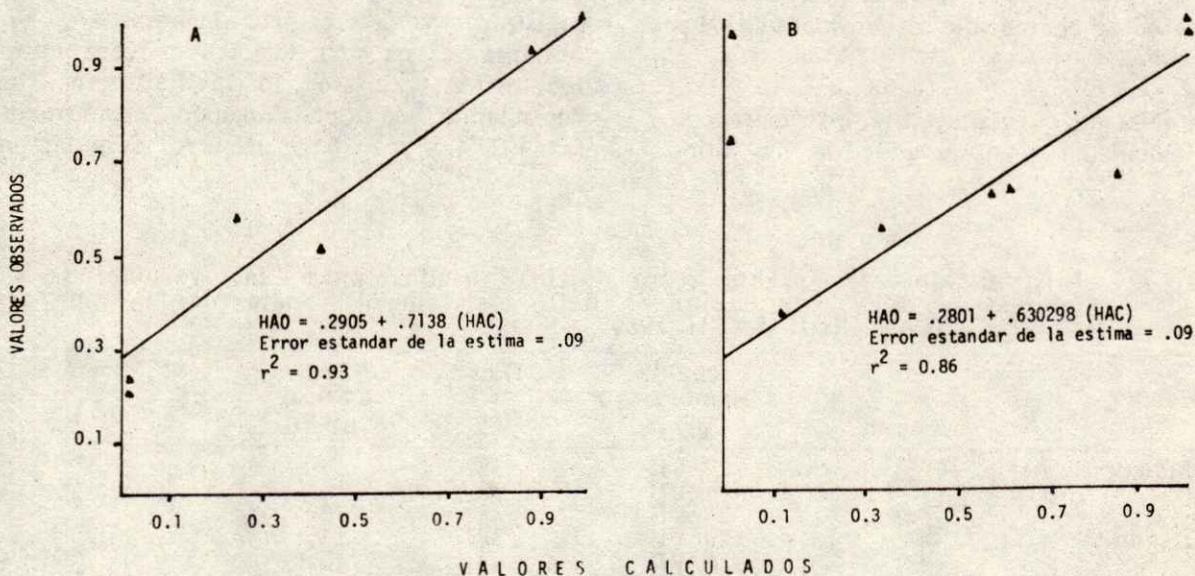


Figura 2. Relación entre la lámina de Humedad Aprovechable (HA_0), calculada por el modelo y observada en campo. A San Antonio de los Chacón y B. Ejido Centro Calles. CESICH-CIFAP, CHIH. 1989.

subestima, ya que cuando el modelo simuló valores cercanos a cero, en el campo se registraron valores de 0.29 HAI. El error estándar de la estima fue muy aceptable (0.09).

En las localidades ITA No. 24 y Ejido Tres Lagunitas, el modelo también subestimó los valores de HAI, pero en un grado mucho menor en relación al resto de los sitios ya que los valores de α y β , tienden más a cero y 1 respectivamente (Figura 3). En la primera localidad aparentemente la relación entre lo observado y lo calculado es baja ($R = 0.48$), pero esto más bien se debió a la falta de observaciones de campo, no así en Tres Lagunitas donde se obtuvo $R = 0.72$ y error estándar en la estima de 0.13.

En la Figura 4, se reporta la información de Ejido Bustillos. Como se puede observar, la distribución de los puntos señala claramente que el modelo en este caso y para este sitio pronosticó deficientemente con $r^2 = 0.43$. Se estima que esto se debió a

posibles errores en el registro de las lluvias ya que el aspecto tanto de cultivo como de humedad de suelo nunca mostraron síntomas de falta de agua y sólo se registraron 274 mm.

En un análisis general de la información de todos los sitios con el fin de detectar la predicción del pronóstico a nivel regional, se encontró la siguiente ecuación: $HAO = 0.3203 + 0.69458 HAC$; $r^2 = 0.62$ y $n = 57$, respecto a los parámetros de la regresión, donde la mayor precisión estaría dado $\alpha = 0$ y $\beta = 1$. Los valores obtenidos muestran una subestimación de 0.32, valor que se considera alto para la simulación, no obstante el coeficiente de determinación $r^2 = 0.62$.

Con el conocimiento previo de que en la localidad de Ejido Bustillos hubo irregularidades en el registro de la lluvia, la información de este sitio se discriminó, y se corrió un nuevo análisis que se presenta en la Figura 5, en la cual se observa una mejor asociación, que se confirma en el diagrama de dispersión aunada a una cierta mejoría en los

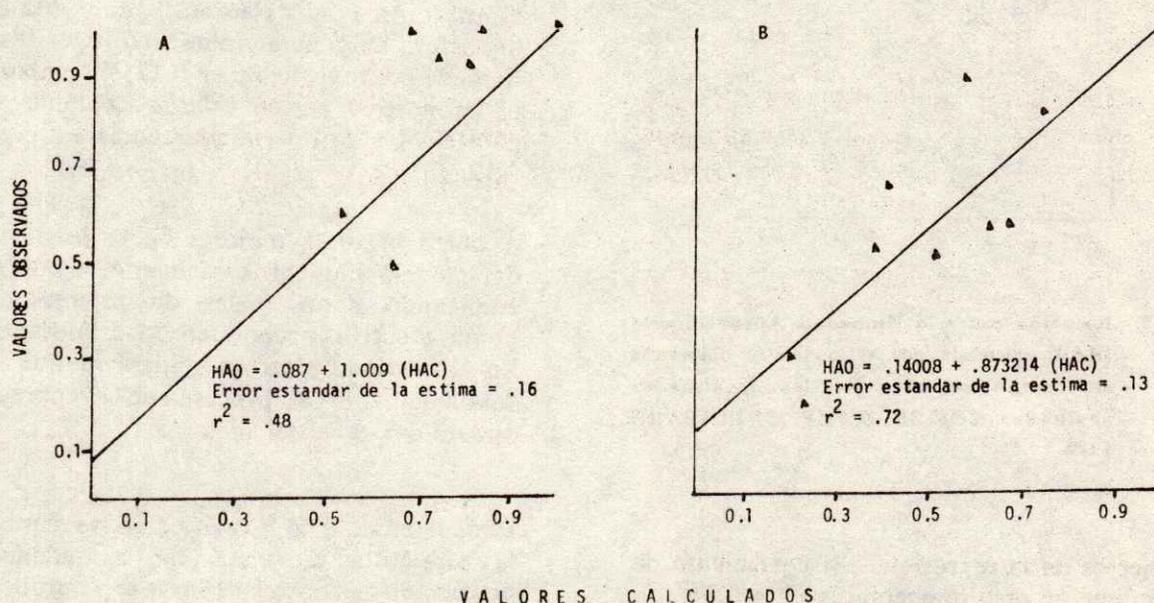


Figura 3. Relación entre la lámina de Humedad Aprovechable (HAI) calculada por el modelo y la observada en campo. A. Cuauhtémoc (ITA No. 24) y B. Ejido Tres Lagunitas. CESICH-CIFAP, CHIH.-SARH. 1989.

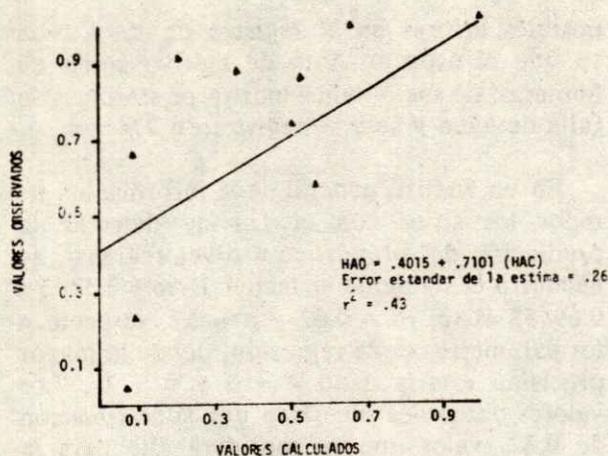


Figura 4. Relación entre la lámina de Humedad Aprovechable (HA_o), calculada por el modelo y observada en campo. Ejido Bustillos. CESICH-CIFAP, CHIH.-SAR. 1989.

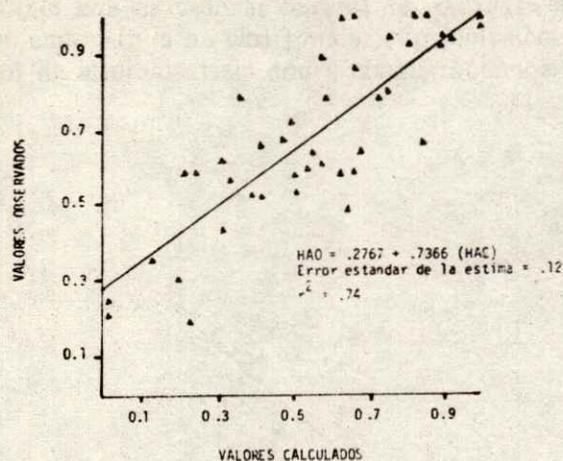


Figura 5. Relación entre la Humedad Aprovechable (HA_o), calculada por el modelo y observada en campo en seis de las localidades evaluadas. CESICH-CIFAP, CHIH.-SARH. 1989.

parámetros de la regresión. El coeficiente de determinación resultó aceptable $r^2 = 0.74$.

De acuerdo con esta información, la predicción en el contenido de humedad aprovechable fue diferente a lo encontrado por

Verastegui (1987), ya que en este caso particular el modelo estimó valores menores a los observados en campo. Esto se debió a que después de una lluvia o recarga de agua en el suelo, el abatimiento de la humedad según el modelo es más rápida que en condiciones reales, así el modelo es más preciso cuando en el suelo se registran valores de $HA_i = 0.5$ en adelante, esto muy probablemente se deba a que la estimación de la evaporación del suelo fue sobre estimada, como sucedió en Cuauhtémoc y Campo No. 26 donde se evaporaron 74 y 76 mm respectivamente.

Otro de los parámetros medibles que pudiera mejorar la precisión del modelo, es emplear datos reales de intensidad de lluvia o lluvia efectiva, así como valores de conductividad hidráulica determinados para cada suelo y así ser usados propiamente en la estimación del consumo de agua por el cultivo.

CONCLUSIONES

- En su forma original, el modelo de simulación del sistema suelo-planta-atmósfera en general subestimó la lámina de humedad aprovechable en 0.27, sin embargo, el pronóstico se considera aceptable con $r^2 = 0.74$ y error estándar en la estima de 0.12.
- A corto plazo la mejoría en la predicción del modelo muy probablemente se lograría empleando datos reales de intensidad o lluvia efectiva y conductividad hidráulica. En el mediano plazo se sugiere revisar más detalladamente el proceso de evaporación directa del agua del suelo.
- Dada la bondad en la predicción, se mantiene la propuesta de continuar evaluando la predicción en otros cultivos y probando otras opciones que no fueron incluidas en este estudio, como son la supresión de la evaporación, la de escurrimiento y su efecto combinado.

LITERATURA CITADA

- CRUZ C., B.** 1986. Estimación de rendimientos con base a información edafoclimática. Tesis de Licenciatura UACH, Departamento de Irrigación, Chapingo, México.
- FIGUEROA S., B.** 1989. Captación de agua y manejo de escorrentías. Apuntes del taller de Capacitación. CREZAS. Colegio de Postgraduados. Salinas de Hidalgo, S.L.P.
- NORERO A., S.** 1982. Modelos agronómicos. Apuntes mimeografiados del curso dictado del 8 de marzo al 2 de abril de 1982. CIDIAT. Mérida, Venezuela.
- OROZCO V., F.** 1987. Requerimientos térmicos de los cultivos maíz y frijol. Informe de investigación sin publicar. CESICH-CIFAP, CHIH.-SARH. Cuauhtémoc, Chih. México.
- PALACIOS V., E.** 1983. Modelos de simulación del sistema suelo-planta-atmósfera para evaluar regiones temporaleras. Colegio de Postgraduados, Chapingo, México.
- PALACIOS V., E., M. MARTINEZ M., A. MARTINEZ G., B. CUEVAS R. y S. MERGRUEN E.** 1981. Estudio de caracterización de zonas temporaleras en función de la productividad de los cultivos de maíz y frijol en el estado de Zacatecas. Estudio realizado por Ariel Construcciones, S.A. para la SARH. México.
- ROJAS A., M.A. y E. PALACIOS V.** 1979. Modelo de simulación digital del sistema suelo-planta-atmósfera para estimar rendimiento de cultivos. Chapingo, México. *Agrociencia* 38: 17-33.
- TORRES R., E.** 1984. Manual de Conservación de Suelos Agrícolas. 2a. Edición. Editorial DIANA, México, D.F. pp. 21-46.
- VERASTEGUI CH., J.** 1987. Evaluación de un modelo de simulación de la evapotranspiración en maíz y frijol, con fines de programación de riego en Calera, Zacatecas. *Agricultura Técnica en México* 13: 15-39.

IMPACTO DE LA SEQUIA EN LA SIMBIOSIS *Phaseolus vulgaris*-*Rhizobium leguminosarum* BIOVAR phaseoli

Effect of Drought on *Phaseolus vulgaris*-*Rhizobium leguminosarum* Biovar phaseoli symbiosis

**David Espinosa-Victoria, Ronald Ferrera-Cerrato,
y Alfonso Larqué-Saavedra**

Sección de Microbiología de Suelos, Centro de Edafología,
Colegio de Postgraduados, 56230 Montecillo, México

Laboratorio de Fisiología Vegetal, Centro de Botánica,
Colegio de Postgraduados, 56230 Chapingo, México

Palabras clave: *Rhizobium leguminosarum* biovar phaseoli, *Phaseolus vulgaris*, Sequía, Simbiosis.

Index words: *Rhizobium leguminosarum* biovar phaseoli, *Phaseolus vulgaris*, Drought, Symbiosis.

RESUMEN

Se llevó a cabo un experimento en invernadero con la finalidad de estudiar el impacto del déficit hídrico en la sobrevivencia y competitividad de dos cepas mutantes de *Rhizobium leguminosarum* bv. phaseoli resistentes a antibióticos (CPMEX1^{Str150} y CPMEX22^{Spe200}) en la rizosfera del genotipo *Phaseolus vulgaris* Bayo Durango sometido a sequía en los estados vegetativo, floración y llenado de vaina. Se empleó suelo no estéril de una zona donde frecuentemente se ha sembrado frijol. Los muestreos se realizaron una vez que las plantas alcanzaron valores críticos de resistencia estomatal y transpiración de 30 s cm^{-1} y $1 \mu\text{g H}_2\text{O cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$, respectivamente y potenciales de agua del suelo inferiores a

-1.5 MPa. Se encontró que el déficit hídrico redujo los valores de peso seco de follaje, peso seco de raíz y el número y peso seco de los nódulos en 20.5, 20.4, 41.3 y 54.4 %, respectivamente. En el estado vegetativo, la sobrevivencia de ambos mutantes tanto en riego como en sequía disminuyó en 5 unidades logarítmicas. Durante la floración y el llenado de vaina la sequía abatió igualmente a ambas poblaciones de mutantes en 2 y 3 unidades logarítmicas, respectivamente. La capacidad competitiva de los dos mutantes disminuyó en más de 50% por efecto del déficit hídrico. Igualmente la actividad de la nitrogenasa del sistema simbiótico fue abatida severamente entre 83 y 94%.

SUMMARY

An experiment was carried out on greenhouse conditions with the purpose of studying the impact of water stress on survival and competitiveness of two antibiotic resistant mutants of *Rhizobium leguminosarum* bv. phaseoli strains in the rhizosphere of Bayo Durango *Phaseolus vulgaris* genotype maintained under drought conditions in vegetative, flowering and pod filling stages. A non sterile soil obtained from a

Recibido 3-91.

field frequently cultivated with beans was used. The plants were harvested when reached critical values of stomatal resistance and transpiration of 30 s cm^{-1} and $1 \mu\text{g H}_2\text{O cm}^{-2}\text{s}^{-1}$, respectively and soil water potential lower to -1.5 MPa . It was found that the water deficit reduced the shoot dry weight, root dry weight and the number and dry weight of nodules values in 20.5, 20.4, 41.3 and 54.4 %, respectively. The survival of two mutants in vegetative stage under drought and well water regimes was reduced 5 logarithmic units. During flowering and pod filling stages the water stress reduced both population mutants in 2 and 3 logarithmic units, respectively. The drought reduced the competitive ability of both mutants in more than 50 %. Equally the symbiotic system nitrogenase activity was severely lowered between 83 and 90%.

INTRODUCCION

La sequía no necesita ser prolongada para hacer evidentes sus efectos en la producción. En muchas regiones agrícolas, las plantas están continuamente expuestas a períodos de déficit hídrico.

Como respuesta al déficit hídrico, algunas veces la planta dispone de mecanismos de adaptación para disminuir el efecto deletéreo de la sequía. La adaptación esencial para que la planta sobreviva, puede ser función de la plasticidad fenotípica de los individuos que los capacita para hacer uso de las condiciones prevalencientes, o de la variabilidad genética presente también en las poblaciones, la cual conlleva a una selección de ecotipos genéticamente más adaptados a una localidad dada.

Se sabe que los efectos ambientales operan mayormente en plantas que son componentes de un sistema simbiótico (Lie, 1981). En el caso particular de la simbiosis *Rhizobium*-Leguminosa, el macrosimbionte debe expresar también el efecto causado por la sequía sobre sus propiedades simbióticas con *Rhizobium*.

Existen numerosos estudios que muestran el efecto de la humedad del suelo sobre la actividad de los microorganismos y el efecto del déficit hídrico sobre varios procesos fisiológicos de las plantas. No obstante, se conoce poco acerca de la influencia del déficit hídrico sobre la simbiosis *Rhizobium*-Leguminosa.

Rathore *et al.* (1981) encontraron que la alteración del metabolismo hídrico en la oya causó un deterioro en el sistema simbiótico que condujo al abatimiento del desarrollo vegetal.

Se sabe que la falta de agua en el suelo reduce la formación de nódulos en la raíz de la leguminosa, así como el contenido de leghemoglobina de los mismos y la asimilación del nitrógeno por la planta (Rathore *et al.*, 1981). Pero también, una vez formados los nódulos bajo condiciones adecuadas de humedad, éstos pueden ser retardados en su crecimiento si son expuestos a condiciones de déficit hídrico (Worrall y Roughley, 1976).

Se ha reportado que el déficit de agua en el suelo abate la reducción de acetileno (Chi-Ying Huag *et al.*, 1975a, 1975b), la incorporación de O_2 (Pankhurst y Sprent, 1975; Sprent, 1976) y la evolución del H_2 (Jih-Min Sung, 1982) de los nódulos; pero por otro lado incrementa la evolución del CO_2 y del etanol (Sprent y Gallacher, 1976). Boonkerd y Weaver (1982) catalogaron al género *Rhizobium* como una bacteria sensible a condiciones de baja humedad en el suelo. Mahler y Wollum II (1981) encontraron que las poblaciones de *Rhizobium* decrecieron a medida que los potenciales de agua se aproximaron a -15 barías.

En contraste, Osa-Afiana y Alexander (1982) observaron que en suelos esterilizado y no esterilizado, las cepas de *Rhizobium* variaron ampliamente en su resistencia a la desecación presentando en general altos porcentajes de sobrevivencia. Por otra parte, Bushby y Marshall (1977) consideraron a las rizobias que están dentro del grupo de crecimiento lento como tolerantes a la

deseccación, a diferencia de las que se encuentran dentro del grupo de crecimiento rápido. Osa-Afiana y Alexander (1982) reportaron que la relación entre la velocidad de crecimiento de *Rhizobium* y la tolerancia a la deseccación en algunos casos no es consistente; no obstante, propusieron la existencia de una relación entre la sensibilidad a la sequía y la producción de polisacárido extracelular por la cepa bacteriana.

En general, tanto los efectos de la deseccación (duración e intensidad) como el rango de recuperación de los nódulos después de una sequía parcial, no han sido clarificados para la relación *Phaseolus vulgaris*-*Rhizobium phaseoli* (Graham, 1981).

El presente trabajo tuvo como objetivo evaluar el efecto del déficit hídrico en los estados vegetativo, floración y llenado de vaina del sistema simbiótico *Phaseolus vulgaris*-*Rhizobium leguminosarum* biovar *phaseoli*.

MATERIALES Y METODOS

El ensayo se llevó a cabo en invernadero empleándose un diseño experimental completamente al azar con arreglo factorial 2X2X3 con tres repeticiones, donde los factores involucrados fueron: dos niveles de humedad (riego y sequía), dos mutantes bacterianos (CPMEX1_{Str150} y CPMEX22_{Spe200}) y tres épocas de muestreo (estado vegetativo, floración y llenado de vaina).

Material biológico. Se emplearon los mutantes de *Rhizobium leguminosarum* bv. *phaseoli* CPMEX1_{Str150} (resistente a 150 μ g ml⁻¹ de estreptomycin) y CPMEX22_{Spe200} (resistente a 200 μ g ml⁻¹ de espectinomycin) pertenecientes a la Colección Microbiana de la Sección de Microbiología de Suelos del Centro de Edafología del Colegio de Postgraduados. Dichos mutantes, previamente seleccionados en invernadero, fueron mantenidos en tubos con medio ELMARC (Vincent, 1970) inclinado hasta su uso.

Se empleó el genotipo de *Phaseolus vulgaris* Bayo Durango con hábito de crecimiento III, frecuentemente usado en la zona frijolera Norte-Centro de México.

Sustrato y unidades experimentales. Se empleó suelo sin esterilizar de la localidad Lomas de San Juan, Texcoco, México, que ha sido clasificado como un migajón arcilloso arenoso (Moreno, 1970). Este suelo presentó un pH de 6.4, bajo contenido de materia orgánica (1.57 %) y nitrógeno total (0.06 ppm), contenido medianamente bajo de P (Olsen) (0.74 ppm), muy alta concentración de K aprovechable (196 ppm), un contenido medio de Ca (1706 ppm) y extremadamente alto en cuanto a Mg (492 ppm). Debido a que en esta localidad se ha sembrado continuamente frijol, se comprobó que en el lote de suelo usado no existieran rizobias con resistencia intrínseca a antibióticos similar a los niveles de resistencia de los mutantes seleccionados. Se usaron macetas de plástico con capacidad para 8.5 kg de suelo, las cuales fueron perforadas en su base para facilitar el drenaje. Se determinó el contenido de humedad del suelo y se calculó el riego a capacidad de campo para 8.5 kg del mismo.

Fertilización, siembra e inoculación. Todas las unidades experimentales fueron fertilizadas con el equivalente a 60 kg de P ha⁻¹ empleándose Ca(H₂PO₄)₂. Antes de la siembra, el suelo de las unidades experimentales fue humedecido a capacidad de campo. Las semillas de frijol fueron desinfectadas superficialmente con alcohol etílico al 95% durante 20 s, después lavadas con agua estéril y transferidas a una solución de bicloruro de mercurio acidificada al 2% durante 1 min; finalmente, las semillas fueron lavadas cinco veces con agua destilada estéril y germinadas en placas de agar (Somasegaran y Hoben, 1985). La siembra se hizo por trasplante empleando una plántula de cinco días de edad por unidad experimental. Simultáneamente, al momento del trasplante se realizó la inoculación con uno u otro de los mutantes aplicando 1 ml de suspensión bacteriana (10⁹ células ml⁻¹) en la radícula.

Inducción de la sequía. Después de aplicarse el último riego a capacidad de campo en los estados vegetativo (a los 30 días), floración (a los 55 días) y llenado de vaina (a los 80 días), fueron registradas la resistencia estomatal (r_s) y la transpiración (T) con un porómetro Steady State (Modelo LI-1600) hasta que las plantas alcanzaron los valores críticos de r_s y T de 30 s cm^{-1} y $1 \mu\text{g H}_2\text{O cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$, respectivamente, reportados por Larqué-Saavedra *et al.* (1984). Al mismo tiempo fueron medidas la r_s y la T de las plantas crecidas bajo condiciones óptimas de humedad. Las mediciones de r_s y T se hicieron a las 12:00 h sobre el trifolio central de la última hoja completamente expuesta.

Potenciales de agua de la hoja (ψ_1) y del suelo (ψ_s). Para determinar el ψ_1 , se empleó una bomba de presión (Soil Moisture Equipment Corporation). Las mediciones se hicieron a las 12:00 h en el peciolo de los trifolios y se registró la presión en MPa según el método descrito por Larqué-Saavedra (1980). El ψ_s se determinó en la zona central de la rizosfera por medio de una cámara psicrométrica C-52 (Wescor, Inc.) conectada a un voltímetro de punto de rocío (HR-33T Wescor, Inc.).

Número de mutantes por gramo de suelo. En el momento de la cosecha, fueron tomadas muestras de 10 g de suelo de la rizosfera con las cuales se elaboraron diluciones decimales, sembrándose una alícuota de 0.1 ml de cada dilución en placas de medio ELMARC (Vincent, 1970) conteniendo la correspondiente concentración de estreptomycin (150 $\mu\text{g ml}^{-1}$) o espectinomycin (200 $\mu\text{g ml}^{-1}$) y actidiona (40 $\mu\text{g ml}^{-1}$) en ambos casos para evitar el crecimiento de hongos. Las placas fueron incubadas a 28°C y leídas cinco días después.

Competitividad de los mutantes introducidos. Las raíces noduladas fueron lavadas perfectamente para eliminar el suelo y se tomó al azar el 40% de los nódulos formados en cada planta. Los nódulos fueron sumergidos en alcohol etílico al 95% durante 5 s, transferidos a una solución de

bicloruro de mercurio acidificada durante 30 s y lavados cinco veces con agua destilada estéril. Cada nódulo fue macerado por separado y se sembró una impronta de cada uno en placas de medio ELMARC (Vincent, 1970) con y sin antibiótico. Las placas fueron incubadas a 28°C durante 8 días, para finalmente estimar el porcentaje de nódulos formados por una u otra cepa al relacionar el número de colonias crecidas en medio con y sin antibiótico.

Actividad de la nitrogenasa. La actividad de la nitrogenasa de los sistemas simbióticos bajo sequía y riego fue determinada por el método de reducción de acetileno (Dilworth, 1966; Scholhorn y Burris, 1967). Las raíces noduladas fueron depositadas en recipientes de plástico que fueron cerrados herméticamente. El 10% de la fase gaseosa de éstos fue reemplazada con acetileno. Después de dos horas de incubación, la cantidad de etileno producido fue determinada en un cromatógrafo de gases Varian (Modelo 1440), con detector de ionización de flama de hidrógeno y una columna de acero inoxidable de 2 m de largo y 1/8" de diámetro empacada con Porapak N.

RESULTADOS Y DISCUSION

Fueron empleados los mutantes de *R. l.* biovar phaseoli CPMEX1_{Str150} y CPMEX22_{Spe200} debido a que al ser evaluados en invernadero, indujeron en el hospedero los valores más altos de peso seco de follaje, de raíz y mayor número de nódulos efectivos (Cuadro 1) en relación a los demás mutantes y cepas parentales (wild type).

Se observó, contrariamente a lo que han reportado algunos autores (Zelazna-Kowalska, 1971; Kleezkowska, 1971), que la condición de resistencia a antibióticos no necesariamente abatió la efectividad simbiótica de los mutantes bacterianos, por el contrario, en algunos casos la incrementó.

En la Figura 1, se muestran los valores de resistencia estomatal (r_s) y transpiración

Cuadro 1. Evaluación en invernadero de los mutantes de R. l. biovar phaseoli resistentes a antibióticos obtenidos en el laboratorio.

Cepa	Peso seco	Peso seco	Número de nódulos efectivos
	de follaje	de raíz	
	(g)	(g)	
CPMEX1 _{w.t.}	2.52 a	0.62 a	200.14 b
CPMEX1 _{Str150}	3.02 b	0.66 ab	375.36 a
CPMEX2 _{w.t.}	2.89 b	0.76 b	208.75 b
CPMEX2 _{Str200}	2.56 a	0.66 ab	174.73 bc
CPMEX2 _{Spe100}	2.61 a	0.61 a	181.69 bc
CPMEX22 _{w.t.}	1.85 a	0.64 a	144.31 bc
CPMEX22 _{Str300}	1.79 a	0.60 a	106.88 c
CPMEX22 _{Spe200}	3.10 b	0.68 ab	150.50 bc

Las cifras de cada columna con letras idénticas son estadísticamente iguales (Tukey, $\alpha = 0.05$).

w.t. = cepa parental o silvestre (wild type).

Str = resistente a estreptomycin ($\mu\text{g ml}^{-1}$).

Spe = resistente a espectinomycin ($\mu\text{g ml}^{-1}$).

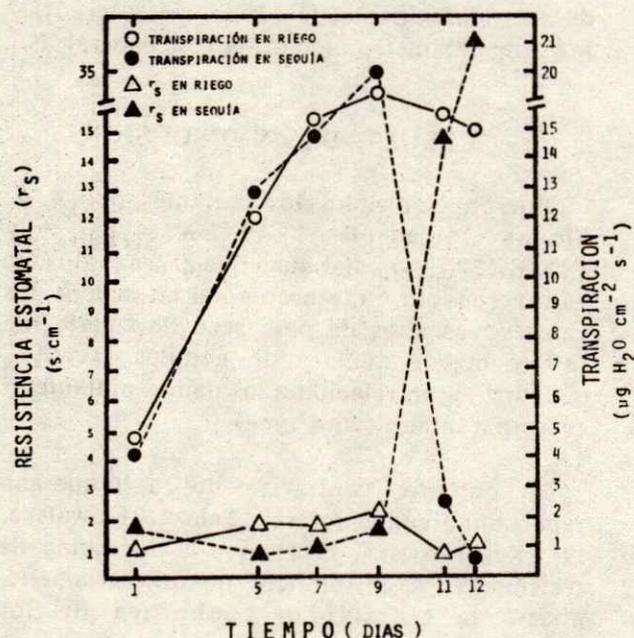


Figura 1. Resistencia estomatal (r_s) y transpiración (T) en el genotipo del frijol común Bayo Durango durante el estado vegetativo.

(T) del macrosimbionte durante el estado vegetativo. Se encontró que una vez suspendido el riego en las plantas mantenidas bajo sequía, la transpiración comenzó a elevarse debido al aumento de la temperatura de la hoja (datos no mostrados) que alteró los gradientes de vapor de agua dentro y fuera de ésta (Meidner y Sheriff, 1976; citados por Larqué-Saavedra *et al.*, 1982). Posteriormente, se presentó una disminución drástica de la transpiración, resultado del cierre de los estomas como respuesta de la planta al déficit de agua (Harrison y Walton, 1975; Jones, 1978).

Por otra parte, la r_s de las plantas bajo sequía después de mantenerse en valores inferiores a 3 s cm^{-1} , comenzó a elevarse a partir del séptimo día de déficit hídrico hasta alcanzar valores superiores a 35 s cm^{-1} , momento en el que las plantas comenzaron a transpirar $1 \mu\text{g}$ ó menos de $1 \mu\text{g}$ de $\text{H}_2\text{O cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$. El déficit de agua en el suelo y el aire seco del ambiente propiciaron el incremento de la resistencia estomatal (Schulze *et al.*, 1972). Los valores críticos de r_s y T de las plantas sometidas a déficit hídrico durante el estado vegetativo, fueron alcanzados a los doce días (Figura 1). La r_s de las plantas bajo riego a capacidad de campo se mantuvo con ligeras oscilaciones, esto mismo se observó con la T pero después del séptimo día; este comportamiento se debió a las variaciones de temperatura y humedad relativa que se presentaron en el invernadero a lo largo del experimento.

En la Figura 2, se presentan los valores de r_s y T registrados en el macrosimbionte en el estado de floración. A diferencia del estado vegetativo, los valores críticos de r_s y T durante la floración fueron alcanzados en un periodo más corto, ocho días después de suspendido el riego. Una mayor área foliar en este periodo propició el agotamiento más rápido del agua. La transpiración de las plantas bajo sequía durante la floración, a diferencia de lo que ocurrió en el estado vegetativo, comenzó a disminuir una vez que el riego fue suspendido (Figura 2). Esta inmediata disminución de la transpiración

puede explicarse como una rápida respuesta de la planta, que cierra sus estomas para economizar agua, ya que es precisamente durante éste periodo donde la planta la requerirá para la síntesis de los compuestos que participarán en la formación y en el llenado de la vaina.

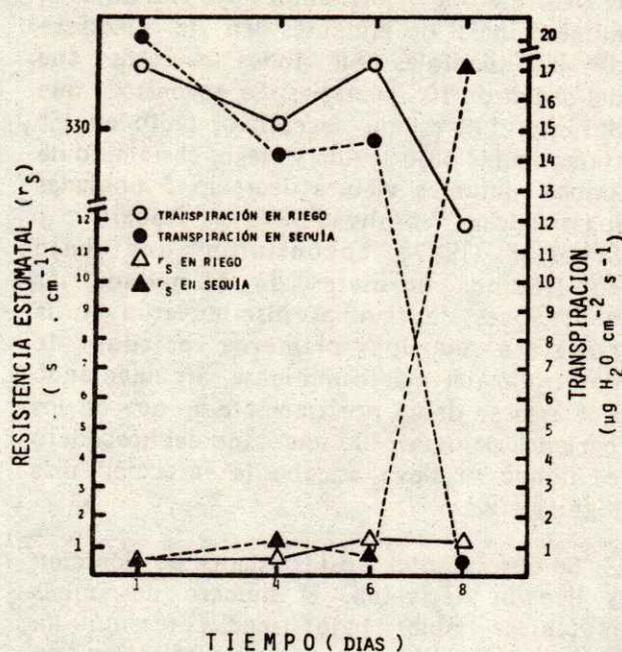


Figura 2. Resistencia estomatal (r_s) y transpiración (T) en el genotipo de frijol común Bayo Durango durante la floración.

En la Figura 3, se muestran los valores de r_s y T obtenidos en el llenado de vaina. Se encontró que los valores críticos fueron alcanzados a los ocho días después de suspendido el riego. En términos generales, se observó que la sensibilidad a la sequía fue menor en el estado vegetativo que en la floración o el llenado de vaina.

En el Cuadro 2, se presentan los potenciales de agua del suelo (Ψ_s) y los potenciales de agua de la hoja (Ψ_l) de cada uno de los estados fenológicos al momento de la cosecha.

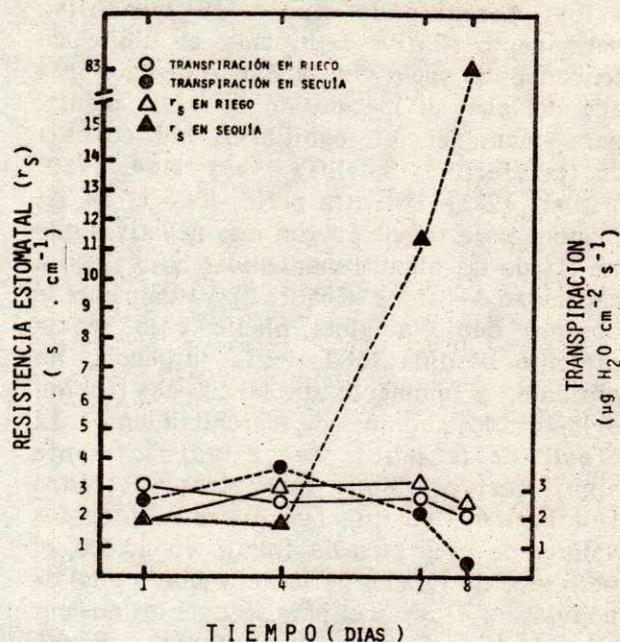


Figura 3. Resistencia estomatal (r_s) y transpiración (T) en el genotipo de frijol común Bayo Durango durante el llenado de vaina.

Cuadro 2. Potenciales de agua del suelo (Ψ_s) y de la hoja (Ψ_l) bajo riego y sequía medidos al momento de la cosecha durante tres estados fenológicos del sistema simbiótico *Phaseolus vulgaris* - *Rhizobium leguminosarum* biovar *phaseoli*.

Estado fenológico	Nivel de humedad	Potenciales de agua (Ψ_s) (MPa)	Potenciales de agua (Ψ_l) (MPa)
Vegetativo	Riego	-0.10 a	-0.30 a
	Sequía	-2.50 b	-1.00 b
Floración	Riego	-0.04 a	-0.31 a
	Sequía	-1.60 b	-0.56 b
Llenado de vaina	Riego	-0.20 a	-0.24 a
	Sequía	-2.13 b	-0.68 b

Las cifras de cada columna con letras idénticas son estadísticamente iguales (Tukey, $\alpha = 0.05$).

A medida que la planta agotó el agua del suelo, después de suspendido el riego, el Ψ_s disminuyó en todos los casos hasta valores inferiores a -1.5 MPa (-15 barías). Este

valor, denominado punto de marchitez permanente (PMP), representa el límite de sequedad del suelo y el potencial de agua más allá del cual el mecanismo de la planta, para mantener el equilibrio hídrico deja de ser efectivo (Sutcliffe, 1968; Ray, 1980; Winter, 1981). Por otra parte, los Ψ_1 de las plantas bajo sequía fueron más negativos que los Ψ_1 de las plantas mantenidas bajo riego a capacidad de campo (Cuadro 2). Visualmente se observó que ninguna planta bajo sequía presentó pérdida total de la turgencia; no obstante, al momento de la cosecha fueron evidentes los síntomas de marchitamiento. El efecto de la sequía fue estadísticamente significativo en los tres estados fenológicos, ya que fueron reducidos los valores de peso seco de follaje en 20.5%, el peso seco de raíz en 20.4%, el número total de nódulos en 41.3% y el peso seco de los mismos en 54.4% (Cuadro 3). Rathore *et al.* (1981) encontraron que en soya, el déficit hídrico además de retardar la floración, redujo el crecimiento de la planta en un 50%.

El abatimiento en la producción de follaje por efecto de la sequía estuvo directamente relacionado con el cierre de los estomas, ya que la planta al evitar de esta forma la pérdida de agua también minimizó el intercambio gaseoso y consecuentemente la síntesis de biomasa. Por otro lado, a medida que la disponibilidad de agua se redujo en el suelo, fue restringido el desarrollo normal de la raíz, y por ende ésta no transportó eficientemente agua y nutrientes para el óptimo crecimiento de la planta.

El déficit de agua en el sistema simbiótico, además de reducir en 41% la formación de nódulos e inducir la abscisión de éstos, inhibió el desarrollo de los nódulos ya formados, ya que disminuyó en 54% el peso seco de los mismos.

En la Figura 4, se muestra la sobrevivencia de los dos mutantes de *R. l. bv. phaseoli* en la rizosfera del frijol común Bayo Durango. El número inicial de mutantes en la rizosfera de las plántulas en todos los casos fue del orden de 10^9 bacterias. Se encontró que durante el estado vegetativo, tanto en los tratamientos bajo sequía y riego, el número de ambos mutantes viables decreció 5 unidades logarítmicas. Bushby (1981) y Robert y Schmidt (1983) encontraron que bajo condiciones normales de humedad, las poblaciones de rizobias disminuyeron en la rizosfera en los primeros estados de desarrollo del macrosimbionte, argumentando que esto se debió precisamente a que en los períodos de desarrollo temprano del hospedero es donde se lleva a cabo la infección más significativa.

Se observó que en los estados de floración y llenado de vaina, el número de ambos mutantes viables bajo riego, presentó un aumento estadísticamente significativo en relación a las poblaciones de mutantes bajo sequía. Durante los estados vegetativo y de floración no hubo diferencia significativa entre ambos mutantes en cuanto a sobrevivencia bajo sequía; sin embargo, el mutante CPME22_{Spe200} se comportó ligeramente

Cuadro 3. Efecto del déficit hídrico sobre el peso seco de follaje, peso seco de raíz, número total y peso seco de nódulos del sistema simbiótico *Phaseolus vulgaris* - *Rhizobium leguminosarum* biovar *phaseoli*.

Nivel de humedad	Peso seco de follaje		Peso seco de raíz		Núm. total de nódulos		Peso seco de nódulos	
	(g)		(g)				(g)	
Riego	14.067	a	1.6285	a	232.35	a	0.21585	a
Sequía	11.178	b	1.2971	b	136.31	b	0.09841	b

Las cifras de cada columna con letras idénticas son estadísticamente iguales (Tukey, $\alpha = 0.05$).

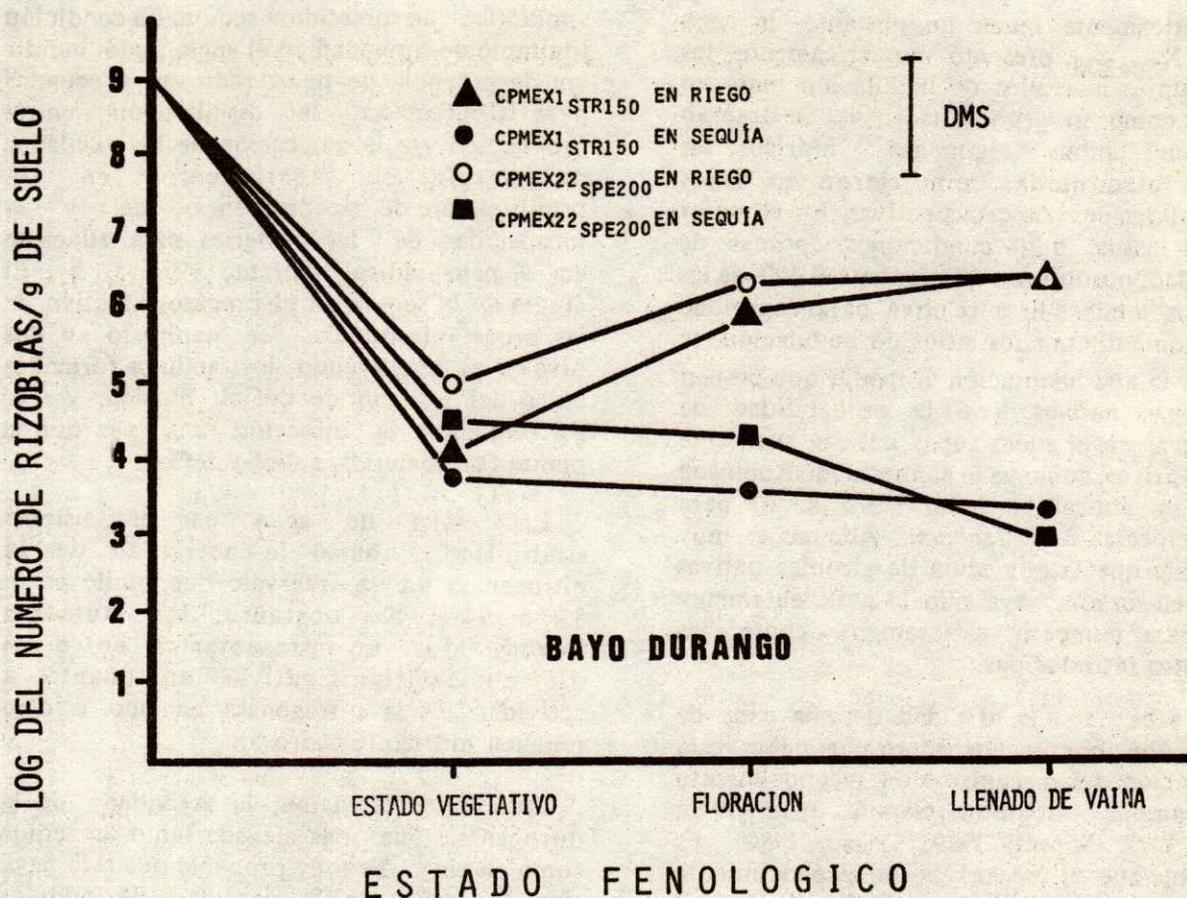


Figura 4. Supervivencia de los mutantes de *R. l. bv. phaseoli* CPME X1_{Str150} y CPME X22_{Spe200} en la rizosfera del frijol común Bayo Durango bajo condiciones de riego y sequía.

menos sensible a la sequía que la cepa CPME X_{Str150}, a diferencia de lo que ocurrió en el llenado de vaina. En este último estado fenológico, la sequía redujo el número de ambos mutantes viables en 3 unidades logarítmicas. En suma, la supervivencia de ambos mutantes fue abatida cuando los ψ_s fueron iguales o menores a -1.5 MPa. Es probable que este severo efecto de la sequía en la supervivencia de ambos mutantes en la rizosfera a través de los diferentes estados fenológicos haya estado relacionado con la particular sensibilidad de *R. l. bv. phaseoli* a la desecación (Peña-Cabriales y Alexander, 1983), su condición de rápido crecimiento (Bushby y Marshall, 1977) y con su inhabilidad de producir suficiente

polisacarido extracelular (Kilbertus *et al.*, 1979).

La supervivencia de las rizobias bajo déficit hídrico es de gran significancia ecológica, ya que éstas deben permanecer por largos periodos bajo dicha condición antes de nodular a su hospedero (Singleton y Cuautle, 1982). El número de rizobias nativas en el suelo usado, al momento de establecerse el experimento, presentó una población de 5.8×10^5 rizobias por g de suelo; al final del mismo, la población disminuyó por efecto de la sequía hasta valores del orden de 10^2 rizobias por g de suelo. Bajo ambas condiciones de humedad, la habilidad competitiva de los dos mutantes fue

estadísticamente igual; no obstante, la cepa CPMEX_{Spe200} presentó numéricamente los porcentajes más altos de nodulación tanto en sequía como en riego (Cuadro 4). Se observó que en ambos regímenes hídricos, las cepas introducidas compitieron en bajos porcentajes con las cepas nativas. En el mejor de los casos, bajo condiciones óptimas de humedad, produjeron escasamente el 40% de los nódulos totales. Esta relativa baja capacidad para competir por los sitios de nodulación, se debe a la alta adaptación al medio que poseen las cepas nativas y a la probabilidad de encontrar en el suelo cepas nativas altamente competitivas, como ya lo han señalado Robinson (1969) y Russell y Jones (1975 a, b) para otras especies de *Rhizobium*. Además es muy probable que la población de rizobias nativas del suelo usado, haya sido lo suficientemente alta para competir exitosamente contra las mutantes introducidas.

Se sabe que la afinidad de una cepa de *Rhizobium* por un hospedero particular está en función del mecanismo de reconocimiento entre ambos simbiosis (Napoli *et al.*, 1975; Brill, 1977; Sprent, 1979; Dazzo, 1980). Es probable que el mecanismo de reconocimiento haya sido modificado cuando el sistema

simbiótico fue sometido a sequía. La condición limitante de humedad en el suelo pudo incidir en la ausencia de pelos radicales adecuados para la infección, la disminución en la producción y/o la desecación de los exudados de la raíz, el abatimiento en la proliferación de rizobias en el suelo y la incapacidad de las bacterias para alinearse en el pelo radical (Sprent, 1972 a, b). El efecto de la sequía en el proceso infectivo de las cepas introducidas se manifestó en dos niveles: a) destruyendo los nódulos formados antes del período de déficit hídrico, y b) restringiendo la infección una vez que la planta fue sometida a dicho déficit.

La falta de agua en el sistema simbiótico abatió la actividad de la nitrogenasa en un intervalo que osciló entre 83 a 94%. No obstante, los mutantes introducidos no presentaron entre sí diferencias significativas en cuanto a actividad de la nitrogenasa en uno u otro régimen hídrico (Cuadro 5).

Durante la floración, la actividad de la nitrogenasa fue más elevada tanto en sequía como en riego. Es muy probable que esto haya sido resultado de la cantidad de nódulos

Cuadro 4. Porcentaje de competencia de los mutantes de *Rhizobium leguminosarum* biovar phaseoli CPMEX_{1Str150} y CPMEX_{22Spe200} en tres estados fenológicos de *Phaseolus vulgaris* L. Bayo Durango.

Mutante de R.l. bv.phaseoli	Nivel de humedad	% de competencia		
		Estado vegetativo	Floración	Llenado de vaina
CPMEX _{1Str150}	Riego	36.71 a	33.42ab	-
CPMEX _{1Str150}	Sequía	12.19 b	11.42c	-
CPMEX _{22Spe200}	Riego	38.10 a	40.12a	-
CPMEX _{22Spe200}	Sequía	13.15 b	9.31c	-

Se plaqueó el 40% de los nódulos totales de cada planta. Las cifras de cada columna con letras idénticas son estadísticamente iguales (Tukey, $\alpha = 0.05$).

- No se determinó.

Cuadro 5. Actividad de la nitrogenasa del sistema simbiótico *Phaseolus vulgaris* - *Rhizobium leguminosarum* biovar *phaseoli* mantenido bajo riego y sequía.

Mutante de <i>R.l. bv. phaseoli</i>	Nivel de humedad	mol C ₂ H ₂ prod./planta h ⁻¹		
		Estado vegetativo		Floración
CPMEX1 _{Str150}	Riego	42.606	a	117.513 a
	Sequía	4.992	b	6.878 b
CPMEX22 _{Spe200}	Riego	55.855	a	210.265 a
	Sequía	9.043	b	34.163 b

Las cifras de cada columna con letras idénticas son estadísticamente iguales (Tukey, $\alpha = 0.05$).

presentes, ya que fue en este período donde se produjo la mayor cantidad de estos.

Se ha reportado que el daño osmótico es uno de los efectos primarios de la sequía sobre la actividad de los nódulos debido a la alta concentración de sales alrededor del nódulo (Sprent, 1972b). Pankhurst y Sprent (1975) y Sprent (1976) sugirieron que otro efecto del déficit hídrico sobre el nódulo es la disminución de la incorporación de O₂, que abate el suministro de metabolitos como el ATP, esencial para la fijación del nitrógeno. Finalmente, es probable que el mal funcionamiento de los nódulos haya sido también resultado de un deficiente aporte de fotosintetizados de hojas con metabolismo hídrico alterado (Chi-Ying Huag *et al.*, 1975b).

CONCLUSIONES

El déficit de agua en la planta, que se reflejó en el aumento de la resistencia estomatal (con valores mayores a 30 s cm⁻¹) y la disminución de la transpiración (con valores menores a 1 µg H₂O cm⁻² s⁻²) y el déficit de agua en el suelo (reflejado con potenciales de agua inferiores a -1.5 MPa) presentaron efectos deletéreos en el sistema simbiótico *P. vulgaris*-*R. l. bv. phaseoli*, reduciendo los valores de peso seco de

follaje, peso seco de raíz y número y peso seco de nódulos en 20.5, 20.4, 41.3 y 54.4%, respectivamente.

El déficit hídrico afectó notablemente la sobrevivencia de ambos mutantes de *R. l. bv. phaseoli* (CPMEX1_{Str150} y CPMEX22_{Spe200}), principalmente en la floración y en el llenado de vaina.

Tanto la capacidad competitiva como la actividad de la nitrogenasa fueron significativamente abatidas por el efecto de la sequía.

En ambos regímenes hídricos, los mutantes bacterianos introducidos compitieron en bajos porcentajes con las rizobias nativas. En el mejor de los casos, en condiciones óptimas de humedad, la nodulación registrada fue de 40%. Esto puso de manifiesto que la alta adaptación al medio por parte de las cepas nativas es una desventaja ecológica latente para todas las cepas introducidas.

No se observaron diferencias entre los mutantes en cuanto a sobrevivencia, capacidad competitiva y actividad de la nitrogenasa en uno u otro régimen hídrico.

LITERATURA CITADA

- BOONKERD, N. and R.W. WEAVER.** 1982. Survival of cowpea rhizobia in soil as affected by soil temperature and moisture. *Appl. Environ. Microbiol.* 43 : 585-589.
- BRILL, W. J.** 1977. Biological Nitrogen fixation. *Sc. Am.* 236: 68-81.
- BUSHBY, H.V.A.** 1981. Changes in the numbers of antibiotic-resistant rhizobia in the soil and the rhizosphere of field grown *Vigna mungo* cv. Regur. *Soil Biol. Biochem.* 13: 241-245.
- BUSHBY, H.V.A. and K.C. MARSHALL.** 1977. Some factors affecting the survival of root-nodule bacteria on desiccation. *Soil. Biol. Biochem.* 9:143-147.
- CHI-YING HUANG, J.S. BOYER and L.N. VANDERHOEF.** 1975a. Acetylene reduction (Nitrogen fixation) and metabolic activities of soybean having various leaf and nodule potentials. *Plant Physiol.* 56: 222-227.
- CHI-YING HUANG, J.S. BOYER and L.N. VANDERHOEF.** 1975b. Limitation of acetylene reduction (Nitrogen fixation) by photosynthesis in soybean having low water potentials. *Plant Physiol.* 56: 228-232.
- DAZZO, F.B.** 1980. Adsorption of microorganisms to root and other plant surfaces. *In: Adsorption of microorganisms to surface.* Ed. Britton, G. and Marshall, K.C. Willey and Sons. Inc.
- DILWORTH, M.J.** 1966. Acetylene reduction by nitrogen fixing preparations from *Clostridium pasterianum*. *Biochem. Biophys. Acta* 127: 285-294.
- GRAHAM, P.H.** 1981. Some problems of nodulation and symbiotic nitrogen fixation in *Phaseolus vulgaris* L.: A Review. *Field Crop Res.* 4: 93-112.
- HARRISON, M.A. and D.C. WALTON.** 1975. Abscisic acid metabolism in water-stress bean plants. *Plant Physiol.* 56: 250-254.
- JIH-MIN SUNG.** 1982. The effect of water stress on the nitrogen fixation efficiency of field-grown soybean. *J. Agric. Assoc. of China. New Series No.* 117: 15-24.
- JONES, H.G.** 1978. How plants respond to stress. *Nature* 271: 610.
- KILBERTUS, G., J. PROTH y B. VERVIER.** 1979. Effect de la dessiccation sur les bacteries gram-negatives d'un soil. *Soil Biol. Biochem.* 11: 109-114.
- KLEEZKOWSKA, J.** 1971. Genetical changes in *Rhizobium* bacteria and their bacteriophage durign coexistence. *Plant and Soil. Special Vol.* 47-56.
- LARQUE-SAAVEDRA, A.** 1980. Fisiología Vegetal experimental. El agua en las plantas. Colegio de Postgraduados, Chapingo, México.
- LARQUE-SAAVEDRA, A., TREJO L.P. and GUTIERREZ, D.F.** 1982. Perfil de respuestas estomatales de frijol en invernadero y cámara de crecimiento. *Agrociencia* 50: 7-15.
- LARQUE-SAAVEDRA, A. TREJO-LOPEZ, C. and VASCO, N.** 1984. A physiological drought parameter for agronomic yield. *Supplement to Plant Physiol.* August 12-17, 1984. p. 23.
- LIE, T.A.** 1981. Environmental physiology of the legumes-*Rhizobium* symbiosis. *In: Nitrogen fixation Vol. 1. Ecology.* Ed. by W.J. Broughton. Oxford University Press.
- MAHLER, R.L. and A.G. WOLLUM II.** 1981. The influence of soil water potencial and soil texture on the survival of *Rhizobium japonicum* and *R. leguminosarum* isolates in the soil. *Soil. Sci. Soc. Am. J.* 45: 761-766.
- MORENO, D.** 1970. Clasificaciones tentativas para usarse en el Laboratorio de suelos del INIA-SAG. Chapingo, México. Mimeografiado.

- NAPOLI, C., F. DAZZO and D. HUBBELL. 1975. Production of cellulose microfibrils by *Rhizobium*. Appl. Microbiol. 30: 123-131.
- OSA-AFIANA, L.O. and M. ALEXANDER. 1982. Differences among cowpea rhizobia in tolerance to high temperature and desiccation in soil. Appl. Environ. Microbiol. 43 (2): 435-439.
- PANKHURST, C.E. and J.I. SPRENT. 1975. Effects of water stress on respiratory and nitrogen fixation activity of soybean root nodules. J. Exp. Bot. 26: 287-304.
- PEÑA-CABRIALES, J.J. and M. ALEXANDER. 1983. Growth of *Rhizobium* in unamended soil. Soil Sci. Soc. Am. J. 47: 81-84.
- RATHORE, T.R., P.K. CHONKAR, R.S. SACHAN and B.P. GHILDYAL. 1981. Effect of soil moisture stress on Legume-*Rhizobium* symbiosis in soybeans. Plant and Soil 60: 445-450.
- RAY, P.M. 1980. La planta viviente. Serie Biología Moderna. Compañía Editorial Continental. México.
- ROBERT, F.M. and E.L. SCHMIDT. 1983. Population changes and persistence of *Rhizobium phaseoli* in soil and rhizosphere. Appl. Environ. Microbiol. 45 : 550-556.
- ROBINSON, A.C. 1969. Competition between effective and ineffective strains of *Rhizobium trifolii* in the nodulation of *Trifolium subterraneum*. Aust. J. Agric. Res. 20: 827-841.
- RUSSELL, P.E. and D.G. JONES. 1975a. Variation in the selection of *Rhizobium trifolii* by varieties of red and white clover. Soil Biol. Biochem. 7: 15-18.
- RUSSELL, P.E. and D.G. JONES. 1975b. Immunofluorescence studies of selection of strains by S184 white clover (*Trifolium repens* L.). Plant and Soil 42: 119-129.
- SCHOLHORN, R. and R.H. BURRIS. 1967. Acetylene as a competitive inhibitor of N₂ fixation. Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A. 58: 21-216.
- SCHULZE, E.D., O.L. LONGE, U. BUCHBOM, L. KAPPEN and M. EVENARI. 1972. Stomatal responses to changes in humidity in plants growing in desert. Plant. (Berl.) 108: 259-270.
- SINGLETON, P. y CUAUTLE, F. E. 1982. El efecto de la salinidad sobre el crecimiento y la sobrevivencia de *Rhizobium*. XI Reunión Latinoamericana de *Rhizobium* (RELAR). Memorias. 24-29 de octubre de 1982. Lima, Perú: 175-181.
- SOMASEGARAN, P. and H.J. HOBEN. 1985. Methods in Legume *Rhizobium* technology. NifTAL-University of Hawaii-MIRCEN. 367 p.
- SPRENT, J.I. 1972a. The effects of water stress on nitrogen-fixing root nodules. II. Effects on the fine structure of detached soybean nodules. New Phytol. 71: 443-450.
- SPRENT, J.I. 1972b. The effects of water stress on nitrogen-fixing root nodules. III. Effects of osmotically applied stress. New Phytol. 71: 451-460.
- SPRENT, J.I. 1976. Nitrogen fixation by legumes subjected to water and light stress. In: Symbiotic nitrogen fixation in plants. Vol. 7 IBP. Ed. P.S. Nutman. Cambridge University Press, London: 405-420.
- SPRENT, J.I. 1979. The biology of nitrogen-fixing organisms. Mc Graw-Hill Book Co. 1985 pp.
- SPRENT, J.I. and A.E. GALLACHER. 1976. Anaerobiosis in soybean root nodules under water stress. Soil Biol. Biochem. 8: 317-320.
- SUTCLIFFE, J. 1968. Plant and water. New York. St. Martin's Press.

VINCENT, J.M. 1970. A manual for the practical study of root-nodule bacteria. IBP. Handbook No. 15, Oxford, Blackwell Scientific Publications.

WINTER, A. 1981. El agua, el suelo y la planta. Ed. Diana, México. 222 p.

WORRALL, V.S. and R.J. ROUGHLEY. 1976. The effect of moisture stress on infection of *Trifolium subterraneum* L. by *Rhizobium trifolii* Dang. J. Exp. Bot. 27 : 1233-1241.

ZELAZNA-KOWALSKA, I. 1971. Correlation between streptomycin resistance and infectiveness in *Rhizobium trifolii*. Plant and Soil. Special vol.: 67-71.

MODELOS DE AVANCE SUPERFICIAL DEL AGUA EN SURCOS

Surface Advance Models for Furrow Irrigation

¹G. Briones S., ¹S.M. Chapa G., ¹S.Z. Garza V. y ²E. Luna D.

¹Departamento de Riego y Drenaje, UAAAN, Buena vista,
25315 Saltillo, Coah;

²CENID, RASPA-INIFAP-SARH Lerdo, Dgo, Apartado Postal 41

Palabras clave: Tiempo de avance, Incremento finito por estación, Balance volumétrico.

Index words: Advance time, Finite increments per station, Volume balance.

RESUMEN

En 1989 se evaluaron tres modelos de avance superficial del riego en surcos con el objeto de analizar su exactitud teórica y validar la confiabilidad de campo de sus predicciones; tales modelos fueron: modelo empírico, modelo del Servicio de Conservación de Suelos y modelo de Muskingum.

La curva de avance superficial simulada por cualquiera de los tres modelos proporcionó una predicción muy aproximada de la tendencia esperada en campo; sin embargo, tal exactitud puede perderse si los coeficientes de diseño y datos requeridos para cada modelo son mal seleccionados o subestimados.

La confiabilidad del modelo de Muskingum se relacionó íntimamente con los coeficientes de Kostiakov y con el coeficiente de rugosidad de

Manning; el modelo empírico resultó de aplicación práctica limitada debido a que se fundamenta en el ajuste estadístico de datos observados, mientras que el modelo del Servicio de Conservación de Suelos hizo buenas predicciones solamente cuando el gasto aplicado era aproximadamente igual al gasto promedio no erosivo.

SUMMARY

Three surface advance models for the furrow irrigation were evaluated in 1989 to analyze its theoretical accuracy and to validate its field reliability. The models tested were: empiric model, Soils Conservation Service model and Muskingum model.

The surface advance curve simulated by whichever of the three models provided predictions very approximate to the expected tendency in the field however such accuracy could be lost if the design coefficients and data required for each model are badly chosen or underestimated.

The Muskingum model accuracy was closely related to Kostiakov infiltration coefficients and to Manning rugosity coefficient; the empiric model demonstrated that the

Recibido 10-90.

statistical fitting by least squares provided an advance function of limited practical application while the Soils Conservation Service model provided good predictions only when the applied flow was approximately equal to the average flow no erosive.

INTRODUCCION

La simulación matemática de la hidráulica del riego en surcos puede conducir a mejorar la eficiencia y manejo del sistema pues permite ensayar cualquier juego de variables y preveer su funcionamiento antes de su implementación definitiva en el campo.

Para simular el avance superficial del agua en surcos muchos modelos matemáticos pueden ser usados: desde ecuaciones simples de exactitud limitada hasta algoritmos numéricos muy sofisticados, ésta segunda opción se ha promovido y facilitado en los últimos años gracias al uso creciente de las microcomputadoras (Singh y Yu, 1987; Singh y Yu Cheng He, 1988).

Sin embargo, los modelos de mayor aproximación algunas veces no son aplicados porque el usuario tiene insuficiente información sobre los datos de entrada o porque las metodologías para establecer los factores de forma, supuestos y restricciones son mal comprendidas e interpretadas (Meyer *et al.*, 1989).

En este estudio se evaluaron tres modelos con el propósito de analizar su exactitud teórica y validar la confiabilidad de campo de sus predicciones; tales modelos probados fueron: modelo empírico, modelo del Servicio de Conservación de Suelos y modelo de Muskingum. Además se estructuró un método para estimar los coeficientes de infiltración Kostiaikov aplicando un análisis balance volumen en los datos de avance para la longitud total de surco.

MATERIALES Y METODOS

Los surcos de prueba se localizaron durante el verano de 1989 en Gómez Palacio, Durango y en Buenavista, Saltillo, Coahuila en sitios con suelos franco arcillosos; la longitud (L) de los surcos era de 200 m espaciados a 80 cm con pendientes topográficas que variaban entre surcos de 0.04-0.20 %. Los gastos (q_0) probados en Buenavista, Saltillo fueron de 1, 3 y 5 lps/surco mientras que en Gómez Palacio se probaron 2, 4 y 6 lps/surco.

Datos Medidos en Campo

Antes de soltar el agua, las estaciones de observación se marcaron sobre la longitud de los surcos colocando estacas a cada 10 m y el desnivel entre estaciones fue medido con teodolito de ingeniero y estatal.

Durante el riego superficial de cada surco se registraba el tiempo de inicio y se cronometraban los tiempos de avance (t) conforme el frente de humedecimiento alcanzaba cada estación. El agua era cortada cuando el flujo llegaba a la última estación registrando en ese momento el tiempo de corte (t_{CO}) para luego tomar los datos de recesión (t_r) siguiendo el retroceso del agua encharcada. Durante la fase de avance se median ancho de espejo (w) y el tirante (y) a dos estaciones aguas arriba del elemento líder, ésto para estimar la geometría de los surcos.

Coefficientes de Infiltración Kostiaikov

Los volúmenes infiltrados (V_{xt}) durante el tiempo de avance se obtuvieron aplicando un balance volumétrico por estación sobre la longitud completa de surco, asumiendo que en cada incremento de tiempo el volumen de agua aplicado en el surco era distribuido sobre la distancia X en el volumen encharcado (superficial) más un volumen infiltrado (subs superficial) siendo este último igual a:

$$V_{xt} = q_0 t - \beta A_0 x \quad (\text{ecuación 1})$$

en donde q_0 es el gasto aplicado por surco, t el tiempo de avance por estación, β un coeficiente de encharcamiento superficial adimensional que varió de 0.44-0.61 A_0 es el área de la sección transversal de flujo a tirante normal y x es la distancia avanzada por el elemento líder al tiempo t .

Los volúmenes V_{xt} se correlacionaron en función del tiempo de avance para obtener una relación empírica potencial del tipo siguiente:

$$VI_{xt} = (Ku)t^{(a+v)} \quad (\text{ecuación 2})$$

luego al dividir esta expresión sobre la función empírica de avance dada en ecuación 1 se obtuvo el modelo clásico de Kostiakov.

$$Z = K t^a \quad (\text{ecuación 3})$$

Los coeficientes de infiltración Kostiakov basados en datos de campo recabados por el método entradas/salidas aplicado en tramos aislados de surco no resultaron representativos de la longitud completa, situación que ha sido demostrada por diversos investigadores puesto que la heterogeneidad del suelo hace que la infiltración varíe espacialmente y cualquier subestimación en dichos parámetros desvía significativamente las predicciones hidrodinámicas de los modelos en riego por superficie (Clemmens, 1979; Bautista y Wallender, 1985; Wallender, 1986; Sánchez, 1989).

La confiabilidad de las predicciones se ha mejorado al aproximar los coeficientes Kostiakov mediante técnicas balance/volumen basada en datos de avance superficial (Lal y Pandya, 1972).

Geometría de los Surcos

El área transversal (A_0), perímetro mojado (P) y radio hidráulico (R) de los surcos fueron calculados en función del ancho del espejo del agua (W) y tirante (Y) considerando la sección parabólica uniforme, posteriormente se determinaron los coeficientes geométricos μ y λ ajustando los datos por el método de

cuadrados mínimos como lo indica la siguiente relación:

$$A_0^2 R^{4/3} = \mu A_0^\lambda \quad (\text{ecuación 4})$$

tal función empírica era sustituida en la ecuación de Manning para estimar cualquier área (A_0) transversal de surco conociendo: gasto (q_0), rugosidad (n) y pendiente (S_0); encontrando:

$$A_0 = \left(\frac{q_0^2 n^2}{\mu S_0} \right)^{1/\lambda} \quad (\text{ecuación 5})$$

Estructura del Modelo Muskingum

El modelo Muskingum se ha usado mucho en hidrología desde su primer aplicación para el control de inundaciones en el Condado de Muskingum, Ohio por el año de 1939 (Strupczewsky *et al.*, 1989), es simple y ha simulado efectivamente el riego por superficie, por lo cual Singh y Yu Chen-He (1988) lo aplicaron en surcos desarrollando una ecuación de avance básica similar a la ecuación 1 pero expresada en incrementos finitos de tiempo y distancia, la cual se muestra enseguida:

$$X_i = \frac{q_i - I \Delta t_j}{\beta A_0 + 2/3 [K(\Delta t_j)^a]} \quad (\text{ecuación 6})$$

El volumen de entrada al elemento líder se distribuye en un volumen de agua superficial más un volumen de agua infiltrada sobre el incremento de distancia ΔX_i ; el denominador de la ecuación 6 representa la suma promedio de ambas áreas, superficial y subsuperficial, relacionada con dichos volúmenes como se muestra en la Figura 1.

Durante la simulación de avance, el denominador se mantiene constante pero el volumen de entrada al elemento líder disminuye en cada incremento de tiempo reduciendo la velocidad de flujo, esto porque el gasto infiltrado aguas arriba de la estación "i" se incrementa conforme X se aproxima a L

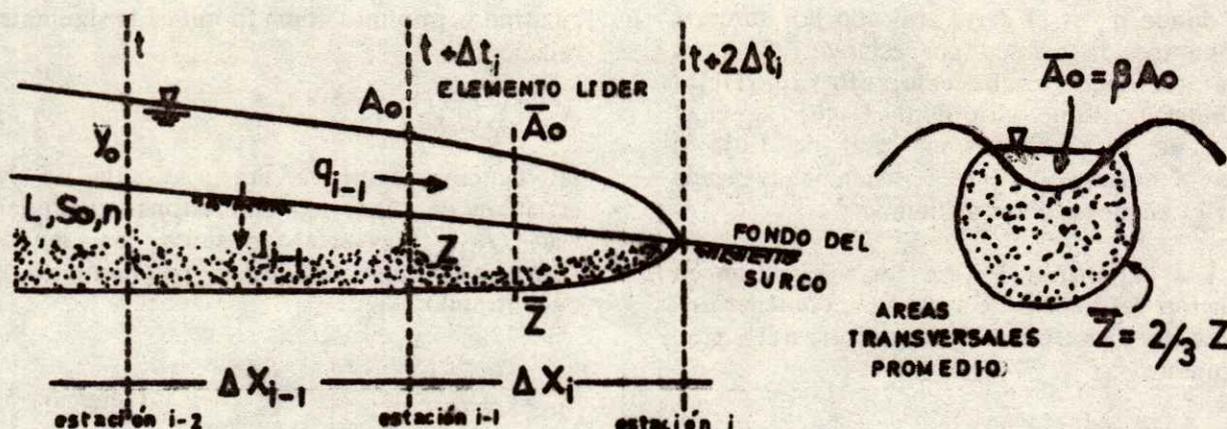


Figura 1. Distribución superficial y subsuperficial del volumen de agua que entra al elemento líder en cada Δt .

haciendo disminuir el gasto de llegada al elemento líder como lo expresa la siguiente ecuación:

$$q_{i-1} = q_{i-2} - I_{i-1} \Delta X_{i-1} \quad (\text{ecuación 7})$$

en donde I_{i-1} es la infiltración que ocurre antes del elemento líder y al multiplicarse por ΔX_{i-1} proporciona el gasto infiltrado en el segmento anterior; la función I se obtuvo derivando la función Z .

Los datos de entrada: L , q_0 , n , S , μ , λ , k , a y β fueron procesados en las ecuaciones 3, 5, 6 y 7 como lo indica el diagrama de la Figura 2 proponiendo una serie de Δt_i durante la predicción del avance hasta $\sum n$

que $i=1$ $\Delta X_i = L$. Los incrementos de tiempo se manejaron uniformes ($\Delta t_1 = \Delta t_2 = \Delta t_i$); con el primer Δt el modelo estimaba X_1 luego este par de valores se retroalimentaba para calcular el gasto de llegada y avance del elemento líder en el Δt_2 ; y así sucesivamente hasta completar la simulación. Un programa de computadora fue escrito en BASIC para resolver el modelo Muskingum rápidamente.

Modelo del Servicio de Conservación de Suelos (SCS)

El tiempo de avance por estación a lo largo de un surco es representado matemáticamente por una relación semilogarítmica cuyos coeficientes f y g se obtienen por ajuste de datos observados (Jensen, 1980), el modelo SCS requiere la entrada de gasto (q_0), pendiente del surco (S) y longitud (L) de la manera siguiente:

$$t = \frac{X}{f} e^b \quad (\text{ecuación 8})$$

siendo:

$$b = g X / q_0 S^{0.5} \quad (\text{ecuación 9})$$

en donde t es el tiempo de avance, X es la distancia desde la entrada del surco a la estación "i", (el valor máximo de X es L), f y g son coeficientes de avance que varían con la familia de infiltración y $e = 2.718281\dots$

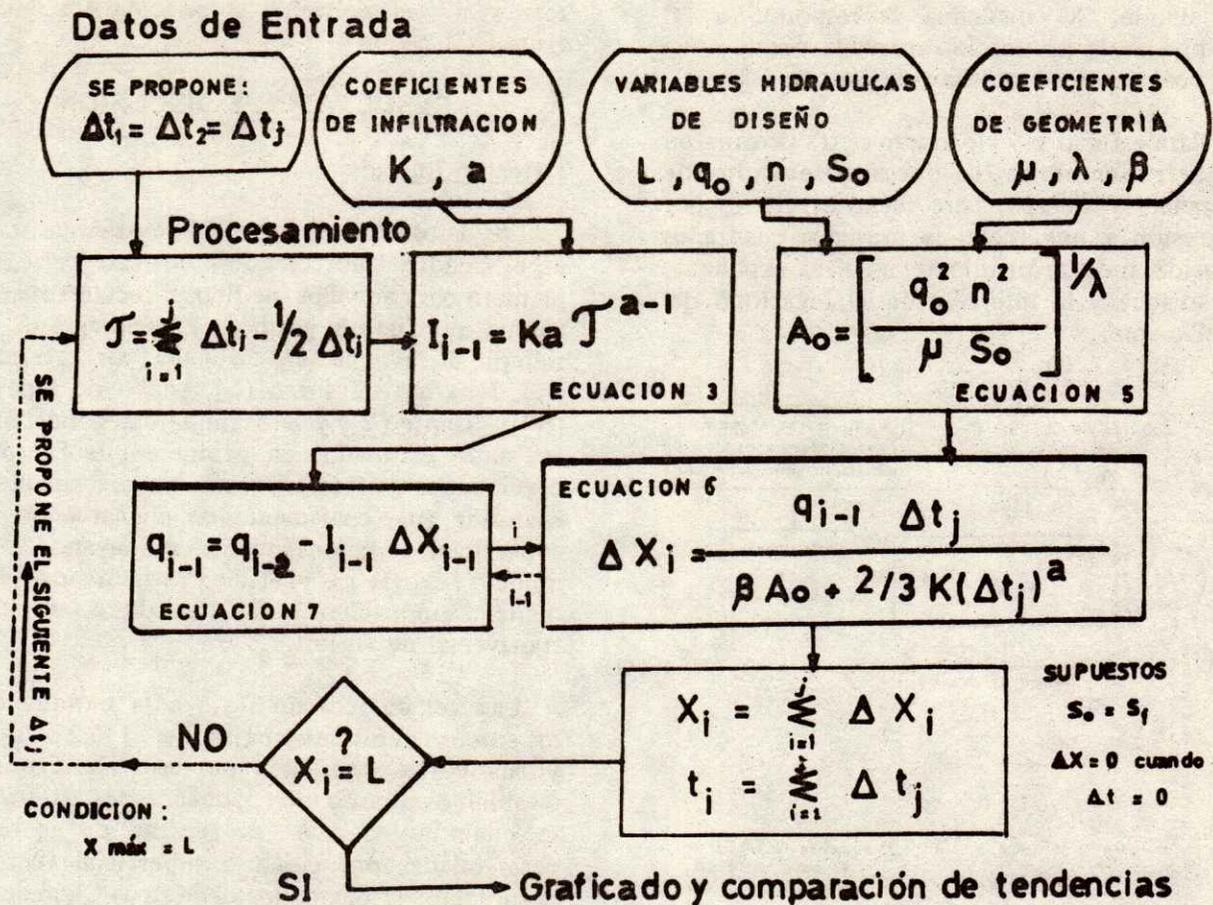


Figura 2. Diagrama que muestra la secuencia de cálculos matemáticos desarrollados durante la simulación del avance superficial del riego usando el modelo de Muskingum.

Al sustituir la ecuación 9 en la 8 y transformar a logaritmos neperianos se obtuvo la siguiente relación linealizada que facilitó la estimación de los coeficientes f y g por ajuste de mínimos cuadrados:

$$\ln(t/X) = -\ln f + \frac{g}{q_0 S^{0.5}} X \quad (\text{ecuación 10})$$

siendo el antilogaritmo de la intercepción de la recta equivalente a f y la pendiente es el valor del coeficiente g , tal arreglo permitió correlacionar los datos de todos los surcos de prueba y los coeficientes de avance obtenidos por sitio se utilizaron para aplicar al modelo

SCS como lo muestra el diagrama de la Figura 3 prediciendo los tiempos de avance a diferentes valores incrementales de X hasta que $X = L$, momento en que finalizaba la simulación; para luego graficar las curvas de avance y comparar con la tendencia de campo.

Función Empírica de Avance

El avance del agua en riego por superficie ha sido representado en muchas investigaciones por una curva potencial (Elliot *et al.*, 1982) del tipo siguiente:

$$X = u t^V \quad (\text{ecuación 11})$$

en donde "X" distancia corresponde a "t" tiempo en la proporción marcada por u y v, los coeficientes empíricos de avance.

Para estimar u y v primero se transformaron logarítmicamente los datos observados de distancia y tiempo, para luego ajustarlos por regresión a una recta de mínimos cuadrados considerando la pendiente igual al exponente de avance y la intercepción el logaritmo del coeficiente.

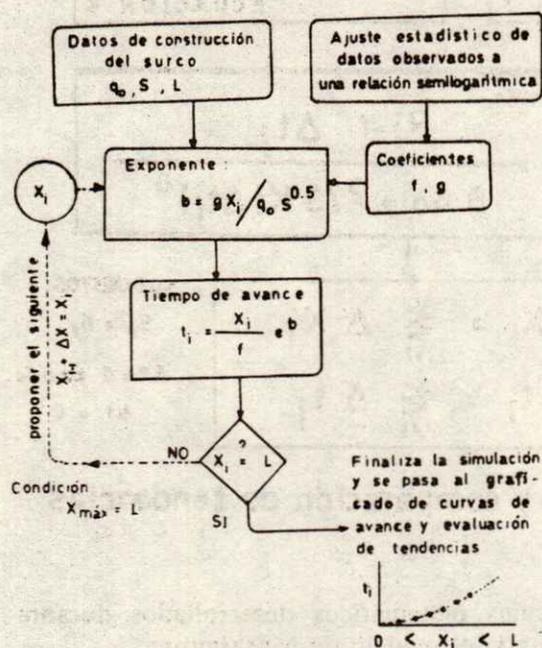


Figura 3. Predicción de los tiempos de avance con el Modelo del Servicio de Conservación de Suelos.

Evaluación de la Confiabilidad por Modelo

Los tiempos de avance estimados por modelo fueron correlacionados con los tiempos de avance observados en campo para iguales intervalos de distancia; y los coeficientes de la recta resultante se sometieron a un ensayo de hipótesis basadas en el estadístico "t" student, interpretando el avance estimado como estadísticamente idéntico al avance observado cuando la prueba "t" student al 99 % de confianza demostraba que la recta comparativa tenía pendiente de uno, intercepción igual a

zero y el coeficiente de correlación era igual a uno.

RESULTADOS Y DISCUSION

Datos de Entrada

Los datos de entrada por modelo se muestran en el Cuadro 1 apreciándose dos categorías, la primera para aquellos medidos directamente en campo que fueron: gasto (q_0), pendiente (S_0), tiempo de avance (t), distancia por estación (X), longitud de surco (L), ancho de espejo (W) y tirante (Y); y la segunda categoría para los datos estimados en gabinete que fueron: coeficientes de Kostiakov (K, a), rugosidad de Manning (n), coeficiente de encharcamiento superficial (B), coeficiente de avance del modelo SCS (f, g), coeficientes de avance del modelo empírico (u, v), área de la sección transversal de flujo (A_0).

Las velocidades de flujo a la entrada de los surcos fueron muy bajas, de 0.1-0.2 m/seg, y sus correspondientes números de Froude también resultaron muy pequeños, de 0.01-0.03; lo cual indicó que las fuerzas de inercia desarrolladas por el flujo superficial fueron despreciables como lo demostró Clemmens (1979) por tal razón la mayoría de los modelos encontrados en la literatura incluyendo el modelo de Muskingum conservan el principio de continuidad (balance volumen) y tienden a despreciar los términos de movimiento (Segunda Ley de Newton) para facilitar el cálculo y simplificación.

Coefficiente y Exponente de Infiltración Kostiakov

Los coeficientes de infiltración K y a guardaron una estrecha correlación positiva ($r > 0.9$) con los coeficientes empíricos de avance (u y v) lo cual demostró la validez de la ecuación 2 y sus asunciones. El exponente a se encontró en su rango típico (0-1) y tendió a incrementarse conforme al incremento en gasto aplicado por surco; por su parte el coeficiente K no mostró relación exclusiva con los gastos porque estaba gobernada en forma abstracta por: q_0 , t, B, A_0 , X, v y u la que

se puede demostrar partiendo de las ecuaciones 1 y 2.

Geometría de los surcos

Los valores para los coeficientes geométricos de la ecuación 5 fueron $\mu = 0.408$ y $x = 2.8$ estimados para una sección parabólica caracterizada por ancho de espejo (W) de 20-40 cm y tirantes (Y) de 9-13 cm; los datos q_0 , S_0 y n proporcionados en el Cuadro 1 se utilizaron para calcular el área (A_0) transversal superficial de los surcos de prueba.

Pendiente y Rugosidad

La pendiente induce movimiento del agua mientras que la rugosidad ofrece resistencia al flujo; en surcos a nivel el avance es motivado por el cambio en tirante con respecto a la distancia y generalmente el movimiento del agua va siendo motivado por los desbalances de posición (H) y tirante (Y) entre una estación y la siguiente.

La pendiente hidráulica [$S_f = (\Delta H + \Delta Y)/\Delta X$] resultó ligeramente mayor que la pendiente topográfica ($S_0 = \Delta H/\Delta X$) observando una caída en el tirante del orden de 1-3 cm sobre la

Cuadro 1. Datos de entrada por modelo usados para la simulación de avance superficial del agua en surco.

Datos por modelo	Abreviación y unidades	Lps/surco		UAAAN	Lps/surco		PRONAPA	
		1	3	5	2	4	6	
Modelo Empírico								
Incremento de distancia	(ΔX), m	10	10	10	10	10	10	10
Coefficiente empírico	(u)	0.086	0.119	0.037	0.392	0.142	0.018	
Exponente empírico	(v)	1.284	1.097	1.235	1.056	1.078	1.484	
Modelo servicio Conservación de Suelo (SCS)								
Incremento de distancia	(ΔX) m	10	10	10	10	10	10	10
Gasto	(q_0), LPs	1	3	5	2	4	6	
Pendiente Hidráulica	(S_f), m/m	0.0017	0.0021	0.0017	0.0006	0.0013	0.0013	0.0013
Coefficiente empírico	(g)	3.17E-4	3.17E-4	3.17E-4	1.31E-4	1.31E-4	1.31E-4	1.31E-4
Coefficiente empírico	(f)	8.33	8.33	8.33	5.51	5.51	5.51	
Modelo Muskingum								
Incremento en tiempo	(Δt), min	10	5	3	10	5	3	
Coefficiente encharcamiento	(β)	0.44	0.46	0.43	0.54	0.55	0.61	
Gasto aplicado	(q_0), LPs	1	3	5	2	4	6	
Coefficiente Kostiakov	(K)	0.0066	0.027	0.015	0.057	0.036	0.0037	
Exponente Kostiakov	(a)	0.330	0.123	0.318	0.076	0.109	0.929	
Area transversal	(A_0), m	0.1164	0.0174	0.0259	0.0179	0.0269	0.0341	
Rugosidad Manning	(n)	0.052	0.033	0.031	0.024	0.032	0.03	
Pendiente topográfica	(S_0), m/m	0.0017	0.0021	0.0017	0.0004	0.0012	0.0013	
Longitud del surco	(L), m	200	200	200	200	200	200	
Tiempo de corte	(t_{co}), min	88	45	27	98	41	37	

longitud total del surco, tal variación en el tirante con respecto a distancia fue despreciada para mantener congruencia con el modelo Muskingum que asume $S_o = S_f$. En el modelo SCS se trabajó usando S_f aunque tal valor es difícil de aproximar por métodos analíticos cuando suficiente información de campo no está disponible.

El coeficiente de rugosidad de Manning promedio fue de 0.033 encontrándose dentro del rango de 0.02-0.04 mencionado en la literatura para surcos por algunos autores (Clemmens, 1979, Walker y Humpherys, 1983, Reddy, 1989). El coeficiente de rugosidad fue relativamente alto ($n = 0.052$) en el surco donde se aplicó un gasto de 1 lps.

Simulación del Avance Superficial

Las curvas de avance estimadas por modelo y por surco fueron graficadas para apreciar las tendencias y sus desviaciones, observando a simple vista que el modelo empírico y el de Muskingum proporcionaban predicciones del tiempo de avance muy próximas a los tiempos observados lo cual se muestra en las Figuras 4 y 5 para ambos sitios, UAAAN y PRONAPA respectivamente.

El Modelo de Muskingum

La simulación por computadora permitió ensayar diferentes intervalos de tiempo (Δt) encontrando que a intervalos cortos la predicción mejora; por lo mismo se manejaron intervalos de 10, 5 y 3 minutos seleccionados incrementos cortos para velocidades altas de flujo e intervalos grandes para velocidades lentas, tal criterio uniformizó el número de incrementos finitos por prueba logrando la simulación completa en 9 o 10 intervalos.

Las predicciones del modelo de Muskingum solamente se desviaron cuando se simuló el avance con 6 lps, tal gasto en el campo casi rebasaba la capacidad conductora de los surcos, lo cual pudiera significar una restricción en la aplicación del modelo

mencionado. La confiabilidad del modelo de Muskingum se relacionó íntimamente con los coeficientes de Kostiakov y con el coeficiente de rugosidad Manning como lo demostraron Fangmeier y Strelkoff (1979).

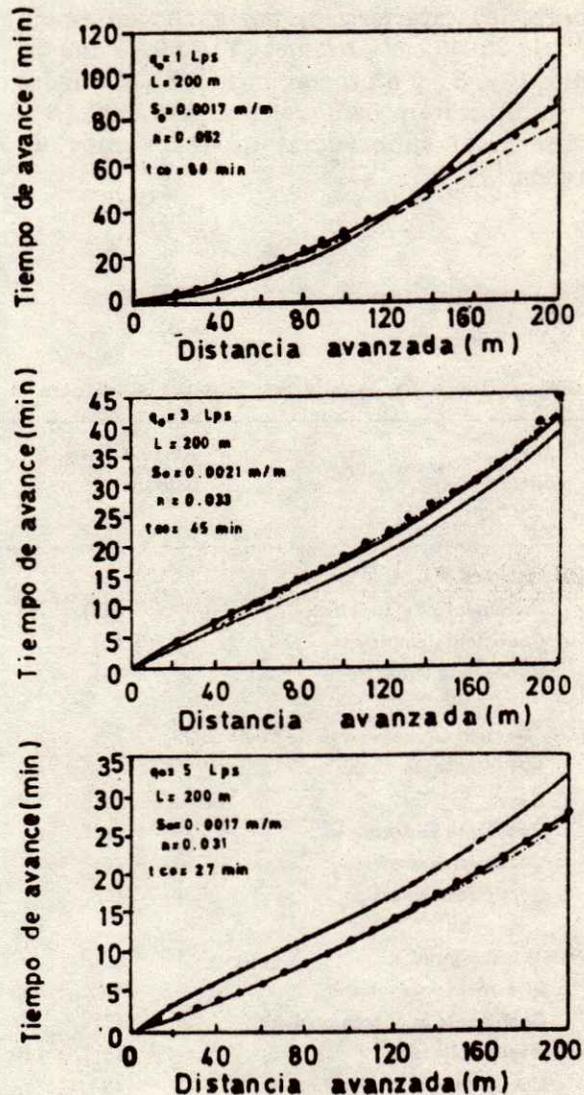


Figura 4. Curvas de avance superficial simuladas con los modelos: Muskingum (—), SCS (---) y el empírico (-·-·-) en surcos de la UAAAN para gastos de 1, 3 y 5 Lps (o datos observados).

El modelo Muskingum una vez calibrado permite simular cualquier juego de variables y sus resultados se pueden extrapolar ampliamente; sin embargo el acceso a las microcomputadores y el manejo de programas pudieran ser limitantes en su uso.

El Modelo del Servicio de Conservación de Suelos (SCS)

Los coeficientes de avance f y g estimados para la UAAAN fueron típicos de la familia de

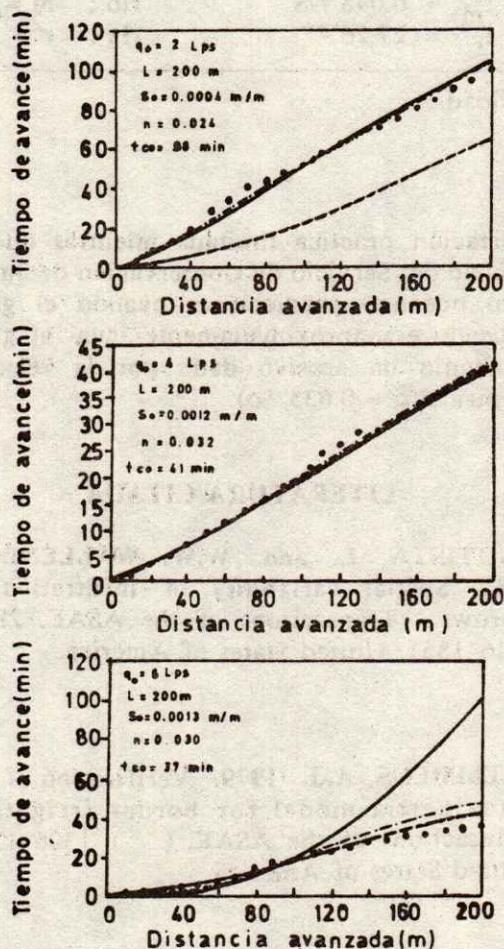


Figura 5. Curvas de avance superficial simuladas con los modelos: Muskingum (—), SCS (----) y el empírico (-·-·) en surcos del PRONAPA para gastos de 2, 4 y 6 Lps (o datos observados).

infiltración 0.7 mientras que aquellos para el PRONAPA se clasificaron en un grupo de familias de muy baja infiltración en el límite inferior del rango reportado por Jensen (1980) para apoyar el uso del modelo.

El avance estimado con el modelo SCS se aproximó significativamente a la tendencia de campo cuando el gasto probado era de 4 lps, y las curvas de avance para gastos diferentes de 4 lps tendieron a desviarse de la tendencia observada pero la confiabilidad de la simulación todavía se mantuvo aceptable al 99% de confianza, como lo demostraron las pruebas t student para ensayo de hipótesis estadísticas mostradas en Cuadro 2.

Modelo Empírico

Por su simplicidad el modelo empírico es muy usado en el diseño y evaluación de sistemas de riego por superficie pero sus resultados son aplicables solo en los surcos de trazo y manejo similares a los surcos de prueba; tampoco permite extrapolar información a surcos con diferente pendiente, rugosidad e infiltración porque resulta complicado relacionar los coeficientes u y v en forma lógica con las variables del sitio.

El método de ajuste estadístico por mínimos cuadrados proporcionó los coeficientes u y v de mayor aproximación pues los coeficientes de correlación resultaron altos y significativos (r de 0.9-1).

Verificación de la Confiabilidad de los Modelos

Para considerar el modelo como un "simulador perfecto" con predicciones aproximadamente iguales a los datos observados, se debería encontrar $\alpha = 0$, $m = 1$ y $r^2 = 1$ en la recta comparativa obtenida por ajuste estadístico al correlacionar avance estimado en función del avance observado, siendo aquella de la forma: $\hat{f} = \alpha + m t$.

Cuadro 2. Pruebas t student para verificar la confiabilidad de los modelos.

Comparación	Coefficientes de regresión	Estadístico t student	Aceptación Hipótesis
Observado vs modelo empírico	$\alpha = 0.55$	$t_{\alpha} = 0.003$ NS	Ho: $\alpha = 0$
	$m = 0.98$	$t_m = 0.005$ NS	Ho: $m = 1$
	$r^2 = 0.99$	$t_r = 91.18$ **	Ha: $r^2 = 1$
Observado vs modelo SCS	$\alpha = 3.38$	$t_{\alpha} = 0.027$ NS	Ho: $\alpha = 0$
	$m = 1.01$	$t_m = 0.002$ NS	Ho: $m = 1$
	$r^2 = 0.75$	$t_r = 18.81$ **	Ha: $r^2 = 1$
Observado vs modelo Muskingum	$\alpha = 3.21$	$t_{\alpha} = 0.023$ NS	Ho: $\alpha = 0$
	$m = 0.81$	$t_m = 0.048$ NS	Ho: $m = 1$
	$r^2 = 0.86$	$t_r = 27.26$ **	Ha: $r^2 = 1$

** Significancia de la t calculada al 1% y 5% de probabilidad.

Se puede apreciar en el Cuadro 2 que la pendiente m resultó de: 0.98, 1.01, 0.81 y los valores α resultaron de: 0.55, 3.38 y 3.21 para los modelos: empírico, SCS y Muskingum respectivamente, ésto indicó que las desviaciones de los valores α y m no fueron significativas aceptándose las hipótesis Ho: $\alpha = 0$ y Ho: $m = 1$ por lo mismo se concluyó que los tres modelos simularon la tendencia de campo con suficiente precisión; y pueden representar la curva de avance con una aproximación del 75-99% como lo indicó el coeficiente de determinación (r^2).

CONCLUSIONES

Las curvas de avance superficial simuladas por cualquiera de los tres modelos proporcionaron una predicción muy aproximada de la tendencia de campo; sin embargo tal exactitud puede perderse si los coeficientes de diseño y datos requeridos para cada modelo son mal seleccionados o subestimados.

La confiabilidad del modelo de Muskingum se relacionó íntimamente con los coeficientes de Kostiakov y con el coeficiente de rugosidad de Manning, el modelo empírico resultó de

aplicación práctica limitada mientras que el modelo del Servicio de Conservación de Suelos hizo buenas predicciones cuando el gasto aplicado era aproximadamente igual al gasto promedio no erosivo dado por la relación empírica ($\bar{q} = 0.635/S_o$).

LITERATURA CITADA

BAUTISTA, E. and W.W. WALLENDER. 1985. Spatial variability of infiltration in furrows. Transactions of the ASAE. 28(6): 1846-1851. United States of America.

CLEMMENS, A.J. 1979. Verification of the zero-inertia model for border irrigation. Transactions of the ASAE. (): 1306-1309. United States of America.

ELLIOTT, R.L., W.R. WALKER and G.V. SKOGERBOE. 1982. Zero inertia modeling of furrow irrigation advance. Journal of the Irrigation and Drainage Division. Proceedings of ASCE. 108(3): 179-194. United States of America.

FANGMEIER, D.D. and T. STRELKOFF. 1979. Mathematical models and border irrigation design. Transactions of the ASAE. (): 93-99 United States of America.

JENSEN, M.E. 1980. Design and operation of farm irrigation systems. The American Society of Agricultural Engineers. pp. 447-566. United States of America.

LAL, R. and A.C. PANDYA. 1972. Volume balance method for computing infiltration rates in surface irrigation. Transactions of the ASAE 15(1): 69-72 United States of America.

MEYER, L.D., R.W. SKAGGS and T.A. HOWELL. 1989. Challenges in soil and water research. Transactions of the ASAE. Soil and Water Division. 32(3): 887-893. United States of America.

REDDY, J.M. 1989. Integral equation solution to surface irrigation. Journal Agricultural Engineering Research. The British Society for Research in Agricultural Engineering 42(): 251-265. United States of America.

SANCHEZ, S.A. 1989. Métodos para medir la infiltración del agua en surcos. Tesis de licenciatura. UAAAN. Saltillo, Coah. Méx.

SINGH, V.P. and F.X. YU. 1987. A mathematical model for border irrigation. I. Advance and storage phases. Irrigation science, 8(3): 150-155. United States of America.

SINGH, V.P. and YU-CHENG HE. 1988. Muskingum model for furrow irrigation. Journal of the Irrigation and Drainage Engineering. 114(1): 89-103. United States of America.

STRUPCZEWSKI W. G., J. J. NAPIORKOWSKI and J.C.I. DOOGE. 1989. The distributed Muskingum model. Journal of Hidrology, Elsevier Science Publishers B.V., Amsterdam. 111: 235-257.

WALKER W.R. and HUMPHERYS S. 1983. Kinematic wave furrow irrigation model. Journal of Irrigation and Drainage Division. 109(4): 377-393. United States of America.

WALLENDER, W.W. 1986. Furrow model with spatially varying infiltration. Transactions of the ASAE 29(4): 1012-1016. United States of America.

RESPUESTA DEL MAIZ AL FOSFORO EN LA CIENEGA DE CHAPALA.

Corn Response to Phosphorus in the Ciénega de Chapala, Mexico.

J. Venegas G, M. Velazquez M. y J.L. Pimentel E.

CIIDIR-IPN-U-MICH.
Justo Sierra # 28, 59510 Jiquilpan, Mich.

Palabras claves: Ciénega de Chapala, maíz, Respuesta al fósforo, Fijación de fósforo.

Index words: Ciénega de Chapala, Maize, P response, P fixation.

RESUMEN

La Ciénega de Chapala en su porción michoacana es una zona agrícola que cuenta con una superficie de 79 711 ha, de las cuales 22 761 se cultivan bajo condiciones de temporal con los cultivos de maíz y sorgo principalmente. En la región, el maíz es fertilizado de una manera muy irregular, a pesar de la recomendación de García (1980) de emplear el tratamiento 140-40-00. Algunos agricultores aplican los dos nutrimentos, otros sólo nitrógeno y otros más sólo fósforo, sin embargo, los cultivos tienen buena apariencia en general, aunque no se fertilicen con este último nutrimento. Para explicar este comportamiento se trabajó en las localidades de: San Gregorio, Jiquilpan, Cumuatillo, Cuatro Esquinas y Emiliano Zapata, en el ámbito de la Ciénega de Chapala. Se evaluaron seis tratamientos de fósforo y un testigo (0,30,60,90,120,150, y 180 kg de P_2O_5 ha⁻¹, empleando un diseño experimental en bloques al azar con cuatro

repeticiones. El genotipo usado como indicador de la respuesta al fósforo fue el maíz H-303; en todos los casos se empleó una dosis constante de 140 kg de nitrógeno ha⁻¹. En cada localidad se muestreó el suelo en el intervalo de 0-20 cm de profundidad y se determinó: textura, contenido de materia orgánica, pH, capacidad de campo, contenido de fósforo aprovechable y capacidad de retención de fósforo. Al final de la investigación se concluyó que: (1) el maíz H-303 no manifiesta respuesta al fósforo en ninguna de las localidades estudiadas, (2) los suelos del área en estudio son extremadamente ricos en fósforo asimilable por las plantas de maíz, y (3) los suelos tienen una alta capacidad de retención de los fertilizantes fosfóricos aplicados.

SUMMARY

In the Ciénega de Chapala, Michoacan, 79 711 ha corn and sorghum are grown during the season in 22 761 ha.

In this region farmers fertilize their corn fields irregularly, regardless of Garcia's (1980) recommendations of the 140-40-00 treatment. Some farmers apply nitrogen (N) and phosphorus (P_2O_5) whereas others use either N or P_2O_5 . However, corn plants grown without P_2O_5 have a good appearance.

The aim of this study was to determine the effect of different levels of P_2O_5 on corn

Recibido 10-90.

yield. Five experiments were carried out to assess seven treatments of P_2O_5 using a randomized block design with four replications at the following locations: San Gregorio, Jiquilpan, Cumuatillo, Cuatro Esquinas and Emiliano Zapata, in the Ciénega de Chapala (Mexico). Yield of corn grain was measured at each P_2O_5 levels and location. Statistical analysis showed that corn yields were not affected by P_2O_5 levels ($P \leq 0.05$) in any of the locations where the experiments took place.

INTRODUCCION

La Ciénega de Chapala, en su porción michoacana, es una zona agrícola que cuenta con una superficie de 79 711 ha, de las cuales, 22 761 se cultivan con maíz y sorgo bajo condiciones de temporal.

En la región, el maíz es fertilizado de una manera muy irregular, a pesar de que García (1980) recomienda el tratamiento 140-40-00 en promedio. Algunos agricultores sólo emplean (P), y aunque la mayor parte aplica los dos elementos, lo hace en cantidades muy variadas. Los cultivos sin embargo tienen, en general, una buena apariencia aunque no se les aplique el fertilizante fosfórico. En relación a este fenómeno, Solano y Aguilar (1976) señalan que la respuesta del maíz al fósforo depende del tipo de suelo, puesto que en algunas localidades el cultivo ha manifestado una clara respuesta al elemento en tanto que en otras con diferentes suelos no se observa.

En investigaciones realizadas en varias zonas agrícolas del país para medir el efecto del fósforo en los cultivos, en general, se han obtenido respuestas en rendimiento. Así, Reséndiz (1983) estudió diferentes factores de producción en maíz en el Distrito de la Barca, Jal., donde probó dosis de nitrógeno, fósforo y densidades de población. Este investigador concluyó que el efecto del fósforo fue significativo al aumentar de 27 a 63 kg de P_2O_5 ha⁻¹ la dosis. Córdova (1982) estudió el grado de aprovechabilidad del Zn por el maíz a diferentes niveles de fósforo y encontró que

este último elemento incrementaba los rendimientos de grano y materia seca hasta el nivel de 2000 kg de P_2O_5 ha⁻¹. Sin embargo las aplicaciones de dosis cada vez mayores causaban una disminución en los contenidos de Zn.

Andrade (1976) estudió la influencia del nitrógeno, fósforo, elementos menores (Zn y Mo) y el estiércol de gallina, sobre los rendimientos de maíz de temporal en dos sitios de la zona v del Plan Puebla. Este autor probó niveles de 0 y 40 kg de N ha⁻¹ y 0, 60, 90 y 120 kg de P_2O_5 ha⁻¹. Sólo en uno de los sitios el rendimiento de grano respondió a la aplicación del fósforo y en ninguno se observó respuesta del rastrojo; los rendimientos más altos de grano y rastrojo se obtuvieron cuando se aplicó gallinaza en combinación con fertilizante.

En un trabajo sobre la predicción de la respuesta del maíz a la fertilización fosfórica en suelos de Tlaxcala, basada en la disponibilidad del fósforo en el suelo y otras variables de sitio, González (1979) concluyó que: (1) la respuesta a fósforo en condiciones de campo está influenciada por contenido de arcilla, fecha de siembra, contenido de materia orgánica en el suelo y disponibilidad del fósforo en el mismo y (2) la ecuación de regresión que con mayor precisión describe la respuesta al fósforo es la que incluye como variable independiente a la fecha de siembra y al contenido del fósforo asimilable en el suelo.

Laird (1981) comparó métodos de aplicación de fósforo y gallinaza, fuentes de fertilizante fosfórico, aplicaciones foliares de los nutrimentos, aplicaciones de silicato de calcio y aplicaciones de cal en maíz en la Sierra Tarasca del estado de Michoacán y observó que la aplicación de 100 kg de P_2O_5 ha⁻¹ fue responsable de casi el 50% del aumento total de la producción. Sin embargo, la aplicación del tratamiento 60-40-00 en el maíz H-507 para temporal en el valle de Apatzingán, Mich., fue suficiente para generar incrementos medios de 1 778, 1 996 y 1 304 kg ha⁻¹ en tres sitios diferentes INIA (1982).

Venegas (1990), en un estudio sobre fertilidad de los suelos purépechas, encontró que existe una alta correlación entre el contenido de materia orgánica y la capacidad de fijación de fósforo de los suelos de la Sierra Tarasca en el estado de Michoacán. Esto se puede atribuir a la relación entre esta y la presencia de alofano. Pero la montmorillonita también es capaz de fijar altas cantidades de fósforo siempre y cuando el pH sea mayor de 5.0 (Ortega, 1978). La adsorción aumenta conforme disminuye el tamaño de las partículas, por lo que los suelos arcillosos tienen mayor capacidad de adsorción de fósforo que los arenosos.

El objeto del presente trabajo consistió en conocer la respuesta del maíz H-303 a las aplicaciones de fertilizantes fosfórico al suelo.

MATERIALES Y METODOS

El presente trabajo se llevó a cabo en el área de la Ciénega de Chapala, en las localidades de: San Gregorio, Jiquilpan, Cumuatillo, Cuatro Esquinas y Emiliano Zapata. Esta área se encuentra localizada en la parte noroccidental del estado de Michoacán entre los meridianos 102°26'45" y 102°45'36" de longitud oeste y los paralelos 19°05'15" y 20°15'27" de latitud norte (SPP, 1981).

Según Mendoza (1974) el área está dividida, desde el punto de vista geológico, en dos regiones: una de naturaleza basáltica con algunos manchones riolíticos, donde predominan los suelos arcillosos, que se encuentra en la parte sur, sur-oeste y oeste de la Ciénega, y está limitada por la Sierra de San Francisco, la de Abadiano y el fuerte del Rayo; y la otra de origen sedimentario, donde los suelos se conformaron a medida que el lago de Chapala fue perdiendo extensión y afloraron los sedimentos depositados por las corrientes que lo alimentaban; ésta se encuentra en la parte norte de la Ciénega.

Los suelos de la Ciénega son del tipo Vertisol crómico y pélico, con predominancia de estos últimos (CETENAL, 1974).

Los suelos de las localidades estudiadas se muestrearon en el intervalo de 0-20 cm de profundidad y se les determinó: textura (Text) por el método del hidrómetro de Bouyoucos, el contenido de materia orgánica (M.O.) por el método de Walkley y Black, el pH en una suspensión suelo-agua 1:2, la capacidad de campo (C.C.) por el método del tubo de percolación, el contenido de fósforo (P) por la técnica de Olsen *et al.* (1954), y la capacidad de fijación de fósforo (Fij. P) por el método de Caudillo y Quiñones (1973) (Cuadro 1).

Cuadro 1. Algunas características fisicoquímicas de los suelos de cinco localidades de la Ciénega de Chapala.

Localidad	Text.	M.O.	pH	C.C.	P	Fij.P
		(%)		(%)	ppm	(%)
San Gregorio	Arc.	3.1	6.8	44	28	83.3
Jiquilpan	Arc.	0.9	6.9	46	32	75.7
Cumuatillo	Arc.	1.6	6.7	41	25	83.2
Cuatro Esquinas	Arc.	1.8	6.9	45	34	80.1
Emiliano Zapata	Arc.	1.2	6.5	44	36	75.37

En cada una de las localidades se evaluaron siete niveles de fósforo: 0, 30, 60, 90, 120, 150, y 180 kg de P_2O_5 ha⁻¹ en un diseño experimental de bloques al azar, con cuatro repeticiones. El genotipo usado como indicador de la respuesta al fósforo fue el maíz H-303. En todos los casos se fertilizó con una dosis constante de 140 kg de N ha⁻¹, aplicando la mitad de éste y todo el fósforo al momento de la siembra; el resto se aplicó en la escarda. Los fertilizantes empleados fueron: la urea (46% N) para nitrógeno y el superfosfato triple de calcio (46% de P_2O_5) para el fósforo. Los experimentos se sembraron una vez establecido el temporal. Para evaluar la respuesta al fósforo, se obtuvieron los rendimientos de grano y se analizaron estadísticamente mediante un análisis de varianza por localidad y conjunto, de acuerdo a como lo escriben Box *et al.* (1978) y Reyes (1978).

Cuadro 2. Rendimientos medios de grano de maíz obtenidos con diferentes niveles de fósforo en cinco localidades de la Ciénega de Chapala.

Localidad	Tratamientos (kg P ₂ O ₅ ha ⁻¹)							Media
	0	30	60	90	120	150	180	
San Gregorio	6012	4916	5127	6034	5924	5521	5355	5553
Jiquilpan	3872	3676	4303	3823	4061	4559	4363	4051
Cumuatillo	3251	3518	2538	4146	3885	4875	2767	3569
Cuatro Esquinas	3316	3121	3229	2959	3279	3184	3831	3274
Emiliano Zapata	1590	1361	1189	1564	1655	1820	1758	1562

DMSH ($\alpha = 0.05$) = 1592

Las características físicas y químicas de los suelos en estudio, en general, son favorables para proporcionar las condiciones apropiadas para la nutrición de fósforo del maíz, como se desprende del Cuadro 1. Los suelos son arcillosos, siendo la arcilla predominante la montmorillonita, que tiene una alta capacidad de intercambio catiónico; los contenidos de materia orgánica son de medios a ricos; el pH es ligeramente ácido a neutro; la capacidad de campo es alta; los contenidos de fósforo extractable son muy altos y la capacidad de retención de fósforo, de 75 a 83%. Estas condiciones tienden a proporcionar un medio propicio para una adecuada nutrición de los cultivos y no obtener respuesta a las aplicaciones de fertilizantes fosfóricos. Al respecto, Olsen *et al.* (1954), dicen que cuando el contenido de fósforo extractable en el suelo es mayor de 9 partes por millón (ppm), es improbable la respuesta del maíz a las aplicaciones de fertilizantes fosfóricos. Por otro lado, los porcentajes de retención de fósforo de los suelos de la Ciénega de Chapala hace suponer que el fósforo que absorben las plantas de maíz procede en un alto porcentaje del "pool" de fósforo lábil del suelo. Nelson *et al.* (1947), señala que mientras mayor es el fósforo lábil menor es la cantidad de fertilizante absorbido por el maíz desde los fertilizantes. El pH óptimo para la disponibilidad y absorción del fósforo, fluctúa entre 6.5 y 7.0, condiciones que se tienen en las localidades estudiadas. Lindsay (1979) menciona que en el rango de pH de 6.5 a 6.9, similar al de los suelos en estudio, más

del 80% del fósforo absorbido por los cultivos está en forma de H₂PO₄⁻ y el resto en forma de HPO₄⁼, lo que se traduce en una mayor aprovechabilidad del fósforo por la planta y en un mayor rendimiento.

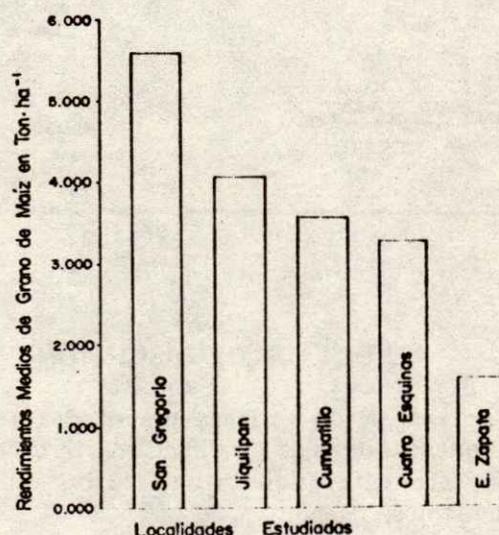


Figura 1. Histograma de los rendimientos medios de grano de maíz de cinco localidades de la Ciénega de Chapala obtenidos de un estudio de la fertilización fosfórica.

Los resultados obtenidos en este trabajo no concuerdan con las recomendaciones generales de García (1980), consistentes en fertilizar con 40 kg de P₂O₅ ha⁻¹ al maíz en la Ciénega de Chapala, pues de acuerdo a la presente investigación, no es necesario fertilizar con

fósforo a dicho cultivo, en los suelos con alto nivel de disponibilidad de este elemento. Sería conveniente, sin embargo, aplicar una dosis de mantención, que varía de acuerdo con la cantidad de fósforo exportado.

CONCLUSIONES

De los resultados obtenidos, las observaciones hechas y la literatura consultada, se concluye lo siguiente:

El maíz H-303 no manifestó respuesta a ninguno de los tratamientos de fósforo aplicados al suelo en cinco localidades con altos niveles de disponibilidad de este elemento.

Las localidades de San Gregorio y Jiquilpan tuvieron los mayores rendimientos de maíz en grano, superando en un 28.7% a las de Cumuatillo y Cuatro Esquinas y, en un 67.5% a la de Emiliano Zapata.

No es necesario aplicar las recomendaciones actuales de fertilizantes fosfóricos al maíz H-303 en el área de influencia de las localidades de: San Gregorio, Jiquilpan, Cumuatillo, Cuatro Esquinas y Emiliano Zapata, en el ámbito de la Ciénega de Chapala. Sólo bastaría una dosis de mantención.

LITERATURA CITADA

ANDRADE C., M. 1976. Influencia del N, P, Mo, Zn y estiércol de gallina en los rendimientos de maíz de temporal en la parte de la zona V del Plan Puebla. Tesis; ENA-Chapingo, Mex.

BOX, G.E.P., W.G. HUNTER y J.S. HUNTER. 1978. Statistic for experimenters. An introduction to design, data analysis and model building. Jhn Wiley & Sons, inc.

CAUDILLO, A., R. y G.R. QUIÑONES. 1973. Un método rápido para la determinación de la capacidad de fijación de fósforo por los suelos. In SMCS (Ed.). Memorias del VI Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo. Tomo II, pp. 253-258.

CETENAL. 1974. Carta edafológica, Esc. 1:50 000 F13D87 Sahuayo, Mex.

CETENAL. 1974. Carta edafológica, Esc. 1:50 000 F13D18 Villa Chavinda, Mexico, D.F.

CORDOVA J., J. 1982. Estudio del grado de aprovechamiento del Zn en el cultivo de maíz a diferentes niveles de fósforo y sus interrelaciones. Tesis de maestría, Centro de edafología, CP-Chapingo, México.

CSERNI, F. 1983. P status of cover sand soil and efficiency of P fertilization in maize and rye monocultures. Zoldsegetermeszeti, kecskemer, 6000, Hungry. Novenytermetes. 32:4 pp 329-338.

GARCIA A., J. 1980. Agenda técnica agrícola. Distrito de riesgo # 24 Ciénega de Chapala, Mich. SARH, Sahuayo, Mich.

GONZALEZ E., D. 1979. Predicción de la respuesta del maíz a la fertilización fosfatada en el estado de Tlaxcala basada en la disponibilidad del fósforo del suelo y otras variables de sitio. Tesis de maestría. Centro de Edafología, Colegio de Postgraduados, Chapingo, Mex.

INIA. 1981. Logros y aportaciones de la investigación agrícola en el estado de Michoacán. Apatzingán, Michoacán, CIAB-INIA-SARH.

LAIRD, R.J. 1981. 25 años de investigación agrícola en la Sierra Tarasca del estado de Michoacán. Ingeniería agronómica. Año II No. 18, México, D.F.

LINDSAY, W. 1979. Chemical equilibria in soils. John Wiley & Sons.

MENDOZA R., J. 1974. Estudio agrológico especial de salinidad y drenaje agrícola. Dirección General de Distritos y Unidades de Riego No 24. Ciénega de Chapala, Sahuayo, Mich.

NELSON, W.L., B.A. KRANTZ, W.A. CALDWELL, W.G. WALTZ, A. HAWKINS, L.A. DEAN, A.J. MCKENZIE y E.J. RUBINS. 1947. Application of radioactive tracer technique to studies of phosphorus fertilizer utilization by crops: II Field experiments. Soil. Sci. Soc. Amer. Proc. 12: 113-118.

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.

ORTEGAT.,E. 1978. Química de suelos. UACH, Departamento de suelos. Chapingo, Mex.

RESENDIZ O., J. 1983. Estudio agronómico del maíz de temporal a diferentes factores controlables de la producción, ciclo 1980. Informe CAEJAL. 1980, CIAB-INIA.

REYES C., P. 1978. Diseños de experimentos aplicados. Editorial Trillas. México, D.F.

SPP. 1981. Atlas nacional del medio físico. pp. 162-163. México, D.F.

SOLANO R.V.D. y S.H. AGUILAR. 1976. Eficiencia del aprovechamiento del fósforo en diferente época de aplicación en maíz de temporal. Informe de investigación agrícola 1976. CIANE-INIA-SARH.

VENEGAS G., J. 1990. Los suelos purépechas y su fertilidad. Colegio de Michoacán (Ed). Memorias de la mesa redonda "Michoacán, lagos azules y verdes montañas.

SITUACION DEL FOSFORO EN LOS SUELOS DE TLAXCALA

Soil Phosphorus Status in Tlaxcala, Mexico

Lourdes Cruz H., Jorge D. Etchevers B., José Rodríguez S.

Centro de Edafología, Colegio de Postgraduados,
56230, Montecillo, México y
Pontificia Universidad Católica de Chile.

Palabras clave: Reacción rápida y lenta de P,
P lábil y P no lábil.

Index words: Fast and slow reactions of P,
Labile and Non-labile pool P.

RESUMEN

Doscientas setenta y cinco muestras de suelo, representativas de las 10 series identificadas en el estado de Tlaxcala, se analizaron para determinarles el P extractable Olsen. Paralelamente, en un grupo de muestras seleccionadas se midieron en el laboratorio algunos parámetros indicativos de las reacciones rápidas y lentas de adsorción de P, las cuales son responsables de la transformación del P en solución a P lábil, y de éste a P no lábil.

Más del 70% de las muestras analizadas presentaron niveles de P extractable Olsen considerados como altos (> 12 ppm P) y muy altos (> 24 ppm P). Estos valores se atribuyen a las dosis anuales de fertilizante fosfatado que se aplican en estos suelos y a su baja reactividad natural. La influencia de

éste último factor se traduce en una baja tasa de transferencia del P en solución al P de los compartimientos lábil y no lábil. El efecto de continuar aplicando las dosis de fertilizante fosfatado actualmente recomendadas, podría ser la generación de desbalances nutrimentales entre el P y otros nutrimentos esenciales para los cultivos, con la consecuente disminución de los rendimientos.

SUMMARY

Measurements of extractable-P (Olsen -P) were performed in 275 soil samples representative of the 10 soil series of Tlaxcala (México). In addition, laboratory parameters indicative of the short time adsorption reactions of P in the soil and of the slow reactions responsible for P transference from the labile pool to the non-labile pool were determined in selected soils samples.

More than 70% of the samples contained extractable-P levels considered high (> 12 ppm P) and very high (> 24 ppm P). High values were attributed to repeated yearly applications of soluble phosphate fertilizer, low reactivity of the short time adsorptive reactions and too small rates of P

Recibido 4-91.

transference from the labile pool to the non-labile pool of P. If current P application practices continue for several years, it is highly possible the development of unbalances between P and other nutrients in the crops which might reduce actual yields.

INTRODUCCION

El propósito de la aplicación de los fertilizantes fosfatados es incrementar la cantidad de P disponible en el suelo, para satisfacer la demanda de este elemento por los cultivos. La eficiencia de esta práctica se ve limitada por la intensidad de las reacciones químicas que ocurren entre el suelo y el fosfato. Tanto el P en solución como el adsorbido aumentan en relación a la cantidad de fosfato aplicada al suelo (Bohn *et al.*, 1985).

Una proporción elevada de los suelos de Tlaxcala presenta niveles altos de P, como consecuencia de: (a) la fertilización fosfatada aplicada en el pasado; (b) la baja capacidad de adsorción de dicho elemento por los suelos; y (c) el efecto residual de dichos fertilizantes (Cruz, 1990).

Las aplicaciones de P a suelos con alta disponibilidad de este elemento, como es el caso de los suelos de Tlaxcala, resultan antieconómicas y pueden originar condiciones limitativas para el crecimiento de las plantas en un futuro próximo (Cruz, 1990; Rodríguez, 1987).

En Tlaxcala, se ha detectado escasa respuesta a la fertilización fosfatada. Volke *et al.* (1972) observaron en este estado, que de 29 ensayos, en ocho de ellos, no hubo respuesta a la aplicación de P. Asimismo, González (1975) expresó que en los suelos de Tlaxcala y en condiciones de temporal, se presentaba escasa respuesta a la fertilización fosfatada en aproximadamente el 40% de los sitios estudiados, por lo que en estos casos sólo se debería aplicar una dosis de mantenimiento. La situación observada por González (1975) se tiene que haber acentuado

en los últimos años por las razones mencionadas anteriormente en esta sección. Así por ejemplo, Cope (1981) observó que la aplicación anual durante 30 años de casi 20 kg P ha⁻¹ en los mismos sitios, produjo un incremento del nivel de P extractable Olsen, de 19 a 33 ppm, hecho que se manifestó en una escasa respuesta al fertilizante fosfatado por los cultivos de maíz, trigo y soya en suelos del estado de Alabama en EUA.

Los objetivos de este trabajo fueron: diagnosticar el nivel de disponibilidad actual de P en los suelos de Tlaxcala y establecer la relación de éste, con las reacciones responsables de su dinámica en el suelo.

MATERIALES Y METODOS

Entre los meses de junio y agosto de 1987, se colectaron 275 muestras compuestas de los suelos del estado de Tlaxcala (0 a 20 cm) representativas de las 10 series establecidas por Rodríguez (1987).

En la totalidad de las muestras se determinó la disponibilidad de P, mediante una extracción con NaHCO₃ 0.5M pH 8.5, procedimiento propuesto por Olsen *et al.* (1954). Barrow y Shaw (1976a, b y c) presentan sólidos argumentos para considerar a este método como el más adecuado para medir la disponibilidad de este elemento. Otras características de estos suelos se presentan en los trabajos de Cruz (1990), Flores (1988) y Rodríguez (1987).

La dinámica del P en el suelo se definió a través de la reacción rápida o Bp (tasa de transferencia del P soluble al lábil) y de la reacción lenta, b y Kp (tasa diaria y anual de traspaso del P lábil al no lábil, respectivamente). El parámetro Bp, se midió en 90 muestras de suelo y el b y Kp se determinaron en 31 de estas, las cuales eran representativas de los tipos de suelo, cultivos y prácticas de manejo, presentes en el estado de Tlaxcala.

La reacción rápida ó Bp se midió en muestras de 100 g de suelo, seco al aire y tamizado con malla de 2 mm, a las cuales se les agregó 0.1145 g (100 ppm P) de superfosfato simple finamente molido. En suelos con muy elevada capacidad de adsorción podría ser necesario elevar esta dosis. Las mezclas de suelo y fertilizante se homogeneizaron en seco con una batidora eléctrica durante 4 min a 500 rpm. Posteriormente, a dichas muestras se les agregó agua hasta una humedad cercana a capacidad de campo, se incubaron durante 24 h a una temperatura de 25°C y al cabo de ese tiempo se les determinó el P Olsen. Los detalles de esta medición están descritos en el trabajo de Cruz (1990).

Se relacionaron mediante una regresión lineal, los valores de P Olsen al inicio y a las 24 h de incubación con la dosis de P adicionada (100 ppm de P), para cada suelo. La pendiente de dicha recta corresponde al valor de Bp (ppm de P extraído por cada ppm de P agregado).

La reacción lenta se midió a través de los parámetros b y Kp. Su cuantificación se realizó en muestras de suelo seco al aire y tamizado con malla de 2 mm, a las que se les adicionó 0.1145 g (100 ppm de P) de superfosfato simple finamente molido. Este nivel había sido determinado como óptimo en un estudio previo (Cruz, 1990). Se homogeneizó en seco el suelo con el fertilizante, con una batidora eléctrica, durante 4 min a 500 rpm; se le agregó agua hasta cerca de su capacidad de campo (aproximadamente 14 ml para un suelo de textura media) y se incubaron a una temperatura de 25°C durante 4 meses. A las 24 h, 3, 5, 10, 15, 30, 60, 90 y 120 días, se retiraron de la incubadora, submuestras de suelo y se les determinó el P Olsen (Barrow y Shaw, 1976a, b y c). Se relacionó el tiempo en días y la concentración de P Olsen en ppm, mediante una regresión potencial, para lo cual se le dió al P extractado a las 24 h un valor de 1 y a los subsiguientes se les asignaron valores relativos a áquel. La pendiente de esta regresión corresponde a la tasa diaria de transferencia de P lábil a no lábil (b).

La tasa anual de transferencia de P lábil a P no lábil, o Kp se estimó mediante el modelo potencial siguiente:

$$Kp = (1 + a * t)^{-b}$$

donde:

- Kp= tasa anual de la reacción lenta
 a = factor de corrección por temperatura; 0.7448 para 17.5 °C, temperatura media de los suelos de la zona (Cruz, 1990).
 t = tiempo en días
 b = tasa diaria de transferencia de P lábil al no lábil

RESULTADOS Y DISCUSION

De acuerdo a la clasificación del CSTPA (1980) sólo el 9% de los sitios muestreados en Tlaxcala se ubicaron en la clase baja de P extractable (< 5 ppm de P Olsen), el 18% correspondió al nivel medio (5 a 12 ppm de P Olsen) y el 73% se situó en la categoría alta (> 12 ppm de P Olsen). En este último estrato, casi el 40% de las muestras sobrepasó las 24 ppm. Esta situación se explica por la aplicación generalizada y constante de fertilizantes fosfatados en los últimos años, haciendo caso omiso del efecto residual acumulativo de dichas aplicaciones. La magnitud del P extractable depende de los valores específicos del Bp y Kp de cada suelo.

En la Figura 1 se observa que en los suelos estudiados en 1990, el porcentaje de éstos que presentan más de 12 ppm de P Olsen (casi un 70% de ellos) es mayor que los estudiados por González en 1975. Esta observación permite suponer que ha habido un incremento en la proporción de suelos de Tlaxcala que exhiben niveles altos de P extractable Olsen.

Los valores medios de P Olsen, Bp y Kp, y sus intervalos de variación para las series de suelo de Tlaxcala se presentan en el Cuadro 1.

La media de P Olsen de cada serie y la media general de todas ellas, sobrepasaron el límite inferior del nivel alto, con excepción de Calpulalpan.

Cuadro 1. Número de muestras, medias e intervalos de variación del P Olsen, de la reacción rápida (Bp) y de la reacción lenta (Kp) de las series de suelo de Tlaxcala.

Serie	P Olsen			Bp			Kp		
	n	x	rango	n	x	rango	n	x	rango
La Malinche	30	29	5- 89	11	0.58	0.43-0.81	3	0.51	0.46-0.60
Nativitas	39	28	2- 107	10	0.57	0.43-0.78	4	0.54	0.51-0.58
Muñoz	37	19	2- 70	12	0.55	0.47-0.68	5	0.57	0.47-0.62
Calpulalpan	9	11	7- 29	4	0.55	0.51-0.60	2	0.44	0.41-0.47
Tlaxcala	46	20	0- 55	15	0.54	0.29-0.64	5	0.48	0.37-0.59
Huamantla	11	22	4- 46	5	0.52	0.48-0.56	3	0.51	0.48-0.54
Xaltocan	41	17	1- 78	8	0.51	0.47-0.54	3	0.52	0.46-0.60
Altzayanca	43	31	3- 90	14	0.50	0.38-0.75	3	0.46	0.42-0.50
Terrenate	12	25	7- 78	6	0.49	0.40-0.55	1	0.53	
Microondas	7	25	16- 42	5	0.52	0.18-0.61	2	0.45	0.42-0.47
Media General		23			0.52			0.50	

n = número de muestras.

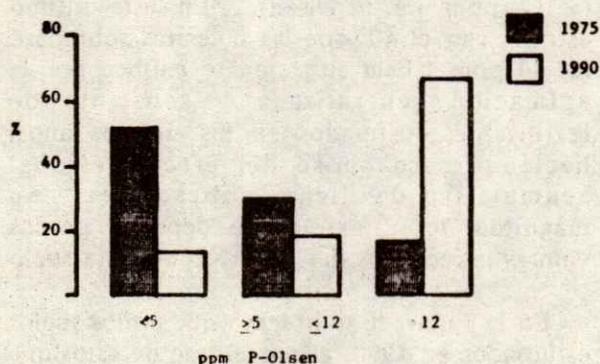


Figura 1. Comparación de la distribución frecuencial del contenido de P-Olsen en suelos de 40 sitios (González, 1975) y de 275 sitios (Cruz, 1990) del estado de Tlaxcala.

Los valores de Bp variaron de 0.18 a 0.81, con una media de 0.52, este último valor significa que en el proceso de adsorción rápida, la concentración de P disponible agregado como fertilizante, decrece en promedio, aproximadamente un 50%, el otro 50% permanece lábil a las 24 h después de la aplicación. En general, los valores de Bp de

los suelos del estado se consideran medios, comparados con los de otros suelos, como los derivados de cenizas volcánicas. En Chile, Pinochet (1988) obtuvo valores de Bp de 0.10 para Andisoles, lo que significa que por cada ppm de P agregado al suelo se extrae una proporción de 0.10, correspondiente a un valor muy bajo. Esto pone de manifiesto las diferencias en la disponibilidad de P, causadas por la génesis de los suelos, la textura y las propiedades químicas. El valor del Bp de los suelos de Tlaxcala indica que una proporción importante del P aplicado queda en forma disponible después de la reacción rápida.

La reacción lenta o el paso del P lábil (o disponible) al no lábil (o escasamente disponible) en una base diaria, se midió a través del parámetro b y en una base anual en términos de Kp. Los valores de b variaron en un rango de -0.028 a -0.12. La pendiente es negativa porque indica un descenso en la disponibilidad del P lábil. Un valor de b relativamente pequeño significa que el movimiento de P entre los compartimientos

lábil al no lábil, es lento, como es el caso de los suelos de Tlaxcala. Según Pinochet (1988) los valores de b de los Ultisoles, Inceptisoles y Andisoles de la zona centro sur chilena fueron de -0.16, -0.17 y -0.17, respectivamente, pero los Molisoles e Inceptisoles de la zona central norte de ese país presentaron una $b = -0.12$ que coincide con el valor más alto de los suelos de Tlaxcala, específicamente los de la serie Tlaxcala, que corresponden a Cambisoles crómicos. Los valores de b de Pinochet (1988) coinciden con los reportados por Barrow y Shaw (1976a) para suelos del oeste de Australia, los cuales fueron estimados en -0.11 a -0.18.

Valores de b relativamente pequeños producen K_p altos, es decir que en los primeros años después de la reacción inicial entre el suelo y el fosfato; se espera un porcentaje de recuperación de P relativamente alto. Los K_p obtenidos muestran que una proporción entre 0.37 a 0.62 del P lábil a las 24 h, permanece efectivo durante el transcurso del primer año posterior a la aplicación del fertilizante fosfatado.

Los valores relativamente elevados del B_p y del K_p indican que el efecto residual del fertilizante fosfatado en los suelos de Tlaxcala, en general es alto, lo cual es uno de los factores responsables de los altos niveles de acumulación del P disponible.

Con base en los resultados obtenidos se observa, que la transferencia de P hacia los compartimientos lábil y no lábil, es de magnitud media, lo que sugiere que el efecto residual de los fertilizantes fosfatados tiende a incrementarse a través del tiempo. Tanto los niveles altos de P actuales, como la magnitud de las reacciones rápidas y lentas que presentan los suelos de Tlaxcala, son factores que mal manejados, pueden llegar a afectar la calidad y cantidad del producto cosechado, la ecología de la zona y las relaciones internutrientales en el suelo y en la planta.

CONCLUSIONES

La mayoría (> 73%) de los suelos agrícolas muestreados en el estado de Tlaxcala (275 muestras) presentan altos niveles de P disponible (> 12 ppm P Olsen), debido a la intensidad de la adsorción rápida y lenta de P, cuyos valores medios son de 0.52 y 0.50, respectivamente. Dichas reacciones son las responsables del efecto residual del fertilizante fosfatado, por lo que éste alcanza magnitudes considerables en estos suelos.

Si se continúan las aplicaciones de P con las dosis actualmente recomendadas pueden generarse problemas de contaminación y desequilibrio nutricionales en los cultivos, sin contar las pérdidas económicas.

LITERATURA CITADA

- BARROW, N.J. y T.C. SHAW. 1976a. Sodium bicarbonate as an extractant for soil phosphate. I. Separation of the factors affecting the amount of phosphate displaced from soil from those affecting secondary adsorption. *Geoderma* 16: 91-107.
- BARROW, N.J. y T.C. SHAW. 1976b. Sodium bicarbonate as an extractant for soil phosphate. II. Effect of varying the condition of extraction on the amount of phosphate initially displaced and on the secondary adsorption. *Geoderma* 16: 109-123.
- BARROW, N.J. y T.C. SHAW. 1976c. Sodium bicarbonate an extractant for soil phosphate. III. Effects of the buffering capacity of a soil for phosphate. *Geoderma* 16: 273-283.
- BOHN, H.L., B.L. McNEAL, y G.A. O'CONNOR. 1985. Soil chemistry 2th. Edition. Wiley Inc. New York.
- COPE, J.T. Jr. 1981. Effects of 50 years of fertilization and yields at six locations. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 45: 342-347.

CRUZ H., M.L. 1990. Establecimiento de la 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.

CSTPA. 1980. Council on Soil Testing and Plant Analysis. Handbook on reference methods for soil testing. Athens, Georgia.

FLORES M., J.P. 1988. Determinación de la dosis de fertilización nitrogenada para maíz y cebada en el estado de Tlaxcala mediante un modelo simplificado. Tesis de Maestría en Ciencias. Colegio de Postgraduados. Montecillo, México.

GONZALEZ E., D.R. 1975. Predicción de la respuesta del maíz a la fertilización fosfatada en el estado de Tlaxcala, basada en la disponibilidad de P del suelo y otras variables de sitio. Tesis de Maestría en Ciencias. Colegio de Postgraduados, Montecillo, México.

OLSEN, S.R., C.V. COLE, F. WATANABE y L.A. DEAN. 1954. Estimation of available phosphorus in soils by extraction with sodium bicarbonate. U.S. Dept. Agric. Circ. 939.

PINOCHET T., D. 1988. Modelo simple para la estimación de la fertilización fosforada de los cultivos. Tesis de Maestría en Ciencias. Universidad Católica de Chile, Santiago, Chile.

RODRIGUEZ S., J. 1987. Desarrollo de normas de fertilización para el cultivo de maíz y la cebada en el estado de Tlaxcala. Centro de Edafología. Colegio de Postgraduados, Montecillo, México.

VOLKE H., V., H. MEJIA A., A. MORALES P. y A. TURRENT F. 1972. Segunda aproximación a algunas prácticas de producción del maíz en la parte sur del estado de Tlaxcala. Resultados de 2 años de investigación 1971-1972. Plan Tlaxcala. CIMMYT. México

**EVALUACION DE LA FERTILIDAD DE LOS SUELOS DE PRADERA
DE LA REGION DE TEZIUTLAN, PUE.**

**Soil Fertility Evaluation of Grassland of
Teziutlan, Pue. (Mexico)**

José Luis Zárate V. y Jorge D. Etchevers B.

Departamento de Suelos, Universidad Autónoma Chapingo,

**Centro de Edafología, Colegio de Postgraduados,
56230 Chapingo, México.**

Palabras clave: Diagnóstico de la fertilidad,
Fósforo, Suelos volcánicos.

Index words: Soil fertility diagnostic,
Phosphorus, Volcanic soils.

RESUMEN

Los problemas de fertilidad en los suelos derivados de cenizas volcánicas de la región de Teziutlán, Puebla, se reflejan en la corta duración y baja calidad de las praderas establecidas en ellos. El presente trabajo de investigación tiene los siguientes objetivos: (a) evaluar la fertilidad de los suelos de pradera de la zona de Teziutlán, Puebla, mediante la técnica del elemento faltante, en macetas y (b) difundir los alcances y ventajas de ésta técnica con fines de diagnóstico. Para esto se tomaron muestras superficiales (0-20 cm) de suelos en 29 sitios de la zona, a los cuales se les caracterizó en algunas de sus propiedades físicas y químicas y se les diagnosticó su fertilidad por medio de la técnica del elemento faltante en invernadero.

Recibido 6-91.

Los resultados obtenidos señalan que el fósforo fue, en un inicio, mediana a severamente deficiente en el 83% de los suelos estudiados, pero de éstos, el 88% presentaron un incremento de su rendimiento respecto al de abonadura completa, lo cual se atribuye a varios factores. Se encontró que el fósforo extractable Bray-1 era un buen estimador del fósforo disponible. Su correlación con la producción de materia seca del tratamiento sin fósforo fue alta ($r = 0.875$). El siguiente nutrimento deficiente en importancia fue el calcio; un 62% de los suelos fueron carentes en este nutrimento. El azufre y los micronutrientes fueron medianamente deficientes en un 21 y 10% en los suelos, respectivamente. La ausencia de potasio y magnesio en la fórmula de fertilización no restringió la producción de materia seca, lo cual indica que no hay problemas de abastecimiento de estos nutrimentos por el suelo. El nitrógeno, aunque no fue evaluado directamente, fue el elemento que en mayor grado restringió el crecimiento de la planta indicadora.

SUMMARY

Rapid deterioration and low quality of pasture in Teziutlan, Puebla (Mexico), are the

consequence of soil fertility problems. The objectives of the present work were: (a) to evaluate the fertility of soils under pasture of the Teziutlan area by the missing element technique, and (b) to test the advantages of this technique under mexican conditions. Soil samples (0 to 20 cm) were obtained from 29 sites in the study zone. The samples were analyzed for various physical and chemical characteristics related to soil fertility. A greenhouse experiment was conducted to evaluate the actual and potencial soil fertility.

Eighty three percent of the sites showed medium to severe phosphorus deficiency, however 88% of them, presented some degree of recovery during the experimental period. Bray-1 P soil test was closely correlated with initial growth in the treatment without phosphorus ($r= 0.875$), showing to be a good estimator of the P availability. Calcium resulted the following most deficient nutrient; 62% of the sites were somewhat deficient in this element. Sulphur and micronutrients were deficient in only 21 and 10% of the sites, respectively. Potassium and magnesium were not limiting to plant growth in the soils of this area. As expected, nitrogen, although evaluated indirectly, showed to be deficient in all soils.

INTRODUCCION

Una parte importante de los suelos de la región de Teziutlán, Puebla, son derivados de cenizas volcánicas y se sospecha que las praderas establecidas en ellos poseen problemas de abastecimiento nutrimental. La zona ofrece excelentes condiciones de clima y suelo para la explotación de ganado bovino de leche, pero el desarrollo de esta actividad se ve impedido por la baja calidad y corta duración de las praderas. Surge así la necesidad de determinar el estado nutrimental de los suelos y su relación con los cultivos forrajeros.

Existen diferentes métodos para evaluar la fertilidad de un suelo: diagnóstico visual, análisis químicos de suelos y plantas, y

método biológicos. Todos ellos son complementarios y el diagnóstico resulta más integral cuando se apoya en dos o más métodos independientes. Los métodos biológicos comprenden los ensayos microbiológicos, los de campo y los de invernadero. Dentro de estos últimos se encuentra la técnica del elemento faltante, la cual ha probado ser muy eficiente para diagnosticar el estado nutrimental en diferentes clases de suelos (Araos, 1967; Chaminade, 1965; Martini, 1969; Martini, 1970; Schenkel y Baherle, 1971; Schenkel *et al.* 1971; Schenkel *et al.*, 1982).

La técnica del elemento faltante en invernadero consiste en cultivar en macetas una planta indicadora que, además de ser exigente en nutrimentos, resista varios cortes en su período vegetativo. Varias plantas reúnen estos requisitos, como algunas gramíneas y el trébol rosado (Chaminade, 1965; Schenkel y Baherle, 1982; Schenkel *et al.*, 1970). El suelo al que se le evalúa la fertilidad, es sometido a varios tratamientos de abonadura: abonadura completa y abonadura completa menos nitrógeno, menos fósforo, menos potasio, menos calcio, menos magnesio, menos azufre y menos micronutrientes (Schenkel y Baherle, 1971); también se pueden establecer tratamientos excluyendo uno a uno los micronutrientes en el caso de que el tratamiento sin estos elementos presente bajos rendimientos relativos (Schenkel y Baherle, 1982). La planta indicadora se siembra con una alta densidad (lo que contribuye a acelerar la aparición de deficiencias) y una vez en pleno período vegetativo se realizan cuatro a seis cortes. Se supone que la producción de materia seca en el tratamiento con abonadura completa es la máxima posible, y por ello se le asigna un índice de rendimiento relativo del 100%. La capacidad del suelo para proveer a las plantas de cada uno de los nutrimentos evaluados en los diferentes tratamientos, se refleja en el rendimiento relativo al tratamiento con abonadura completa. La interpretación de los resultados se facilita cuando el índice de rendimiento acumulado, expresado en porcentaje, de cada tratamiento se grafica en una escala logarítmica en el eje de las ordenadas y la

producción acumulada de materia seca de la abonadura completa en el eje de las abscisas (Schenkel, 1971). La gráfica resultante es un diagrama de fertilidad, y las líneas que unen puntos referentes a un mismo tratamiento se denominan líneas de fertilidad. Las líneas de fertilidad obtenidas en gráficas semilogarítmicas son por lo general rectas, cuya ordenada al origen (conocida como fertilidad inicial), señala el nivel en el suelo del nutrimento evaluado al comienzo del ensayo, y una pendiente negativa revela la velocidad con que el elemento se agota. Si la pendiente es positiva, caso poco frecuente, señalaría un incremento de la disponibilidad provocada por mineralización de la materia orgánica u otras reacciones que se ven favorecidas por las condiciones del trabajo en macetas. De lo anterior se deriva que la técnica del elemento faltante nos permite conocer el orden de prioridad y la intensidad de las deficiencias de los nutrimentos (Schenkel, 1971).

MATERIALES Y METODOS

La zona de estudio se localiza en el municipio de Teziutlan, Puebla, y abarca una

superficie aproximada de 8,000 ha deficientes (Figura 1); el relieve es de lomerío-cerril con altitudes que varían entre los 1800 y los 2400 msnm. El clima es templado húmedo con precipitaciones que fluctúan entre los 1200 y 2000 mm y temperaturas medias anuales entre 14 y 16°C (SPP, 1981). El material parental del suelo está constituido en su mayor parte por cenizas volcánicas (López, 1979), y los suelos predominantes están clasificados como andosoles (SPP, 1981), con un régimen údico sin restricciones de humedad de acuerdo a las precipitaciones y temperaturas de la zona. Se practican la agricultura de temporal, con maíz como cultivo principal y la ganadería bovina sostenida por pastizales naturales e inducidos.

Se colectaron muestras superficiales (0-20 cm) de suelo en 29 sitios con praderas (Figura 1). Cada muestra (constituida de 25 a 30 kg de suelo base peso seco) se secó al aire, se molió y se tamizó por una malla de 4 mm de abertura. Para un mejor manejo de las macetas en el invernadero, el ensayo biológico se dividió en tres etapas, en las cuales se evaluaron 7, 11 y 11 suelos, respectivamente.

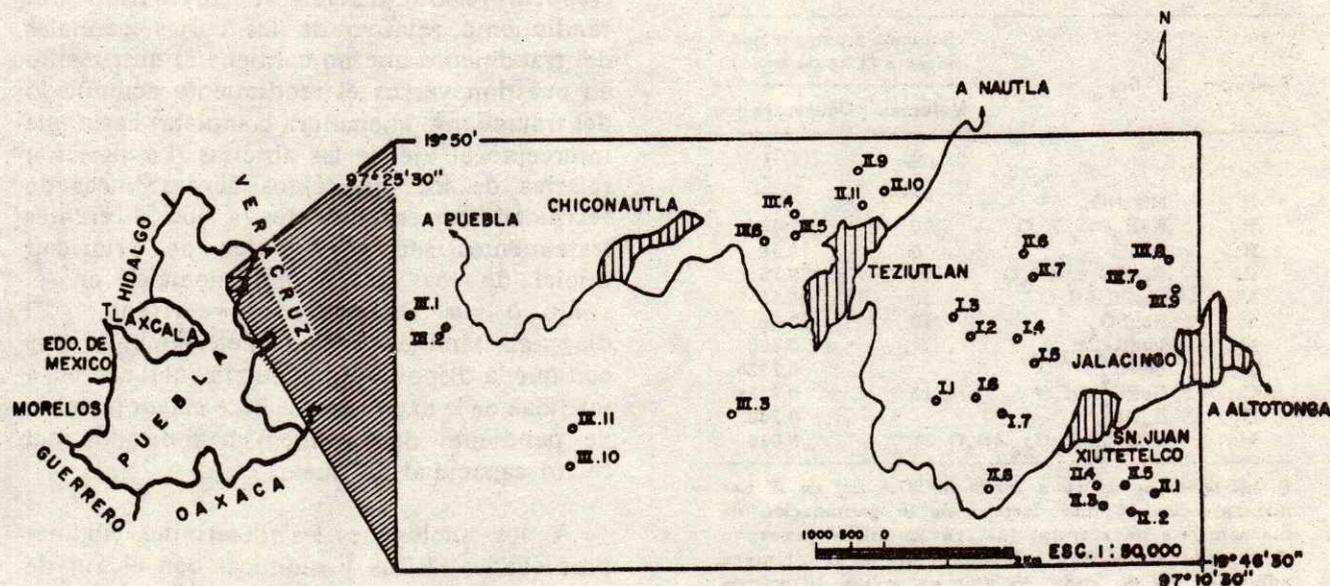


Figura 1. Ubicación de la zona de estudio y sitios de muestreo.

En cada suelo se establecieron ocho tratamientos: abonadura completa (AC), AC menos fósforo (-P), AC menos potasio (-K), AC menos calcio (-Ca), AC menos magnesio (-Mg), AC menos azufre (-S), AC menos todos los micronutrientes (-Micro) y un tratamiento sin ninguna adición de nutrientes o testigo absoluto (TA). Los nutrimentos correspondientes a cada tratamiento se aplicaron en forma de soluciones. En el Cuadro 1 se presenta una lista de las sales, las concentraciones de las soluciones y el volumen de éstas que se emplea en cada tratamiento. El tratamiento AC consistió de una mezcla de todas las soluciones, los tratamientos sin un elemento llevaron todos los nutrimentos menos el señalado. Los volúmenes indicados se aplicaron a 1 kg de suelo, excepto en dos casos en que hubo que usar un menor volumen por la baja densidad aparente que exhibía el material. El suelo se mezcló íntimamente con las soluciones y luego se transfirió a macetas de 1 kg de capacidad. En cada maceta se sembró 1g de semilla (equivalente aproximadamente a 300 semillas) de ballico inglés (*Lolium perenne*) entre 3 y 5 mm de profundidad.

Cuadro 1. Reactivos utilizados como fertilizantes en los diferentes tratamientos.

Elemento	Sol	Solución a agregar por maceta (1 kg de suelo)	
		Volumen (ml)	Concentración (g/l)
N	NH_4NO_3	*1)	*
P	$\text{NaH}_2\text{PO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$	10	97.15
K	KCl	10	79.19
Ca	$\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	10	73.75
Mg	$\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	10	25.37
S	Na_2SO_4	10	22.06
Mn	$\text{MnSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$		0.450
Zn	$\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$		0.2225
Cu	$\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$	10	0.3125
B	H_3BO_3		0.200
Mo	$(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24} \cdot 4\text{H}_2\text{O}$		0.016

El nitrógeno se aplicó a razón de 87.5 mg de N por maceta a los 15 días después de la germinación de las semillas para todos los tratamientos (excepto el testigo absoluto). Después de esta primera aplicación de N, cada 15 días se aplica 10 ml de una solución de 17.15 g de NH_4NO_3 por litro. Las demás soluciones nutritivas se aplicaron un día antes de la siembra.

Las macetas se regaron dos veces por día antes de la emergencia, tratando de mantener húmeda la superficie del suelo, y diariamente después de aquella, pesando cada dos días para mantener el suelo a capacidad de campo. Para el riego se empleó agua destilada para los suelos de la segunda etapa y de pozo profundo para los de la primera y tercera etapa.

Los cortes se realizaron cuando el pasto alcanzaba 15 a 20 cm de altura en el tratamiento de abonadura completa, a una altura de 2 cm sobre la superficie del suelo. Se efectuaron seis, cuatro y cinco cortes en suelos de la primera, segunda y tercera etapa, respectivamente. El material cosechado en cada corte se secó a 65°C y se registró en peso seco. Al final del ensayo se tomaron muestras de suelo de los tratamientos con abonadura completa y -P, y se les determinó fósforo extractable Bray-1 y pH en agua para ayudar en la interpretación de resultados.

El análisis de los resultados se hizo empleando el diagrama de fertilidad propuesto por Schenkel *et al.* (1971). Este diagrama permite estimar el grado de disponibilidad inicial (factor intensidad) de un elemento ensayado o fertilidad inicial relativa, extrapolando su línea de fertilidad (resultante de graficar el logaritmo del rendimiento relativo de los cortes parciales del tratamiento que no contiene el nutrimento en cuestión versus el rendimiento acumulado del tratamiento abonadura completa) hasta que intercepte el eje de las abscisas. La posición relativa de los interceptos de las líneas de fertilidad correspondientes a los diferentes tratamientos señala el orden de prioridad inicial de los déficit nutrimentales en el suelo o sus intensidades relativas. El diagrama también permite determinar la tasa con que la disponibilidad nutrimental cambia a medida que la extracción se hace mayor (cambio de pendiente de la línea) o indicador del factor capacidad del suelo.

A los suelos se les determinó algunas propiedades físicas y químicas con el fin de caracterizarlos. La ubicación exacta de los puntos de muestreo en la zona se describe en el trabajo de Zárate (1986).

RESULTADOS Y DISCUSION

Caracterización Química y Física de los Suelos.

En el Cuadro 2 se presentan los valores medios e intervalos, desviaciones estándar y coeficientes de variación de algunas características químicas y físicas de los suelos estudiados. Los suelos empleados para la investigación son ácidos, de baja conductividad eléctrica, altos en materia orgánica y nitrógeno total, y presentan relaciones C/N variables (bajas a altas); tienen contenidos apreciables de alofano y, por tanto, elevados porcentajes de fijación de fósforo y bajos niveles de fósforo disponible; dentro de los cationes intercambiables predomina el calcio y le siguen el magnesio y potasio, todos ellos presentes, por lo general, en cantidades suficientes, mientras

que el aluminio intercambiable no alcanza el nivel tóxico señalado por Chapman (1966); la capacidad efectiva de intercambio catiónico es, en general, media, y el porcentaje de saturación de bases es alto, por lo que el porcentaje de saturación de aluminio es bajo en la mayoría de los suelos.

El color del suelo fluctuó entre café amarillento y café en seco, y entre café oscuro y café grisáceo muy oscuro en húmedo. La densidad aparente (determinada en terrones secados al aire) varió entre 0.68 y 1.16 g/cm³, la capacidad de campo entre 49 y 96% y la textura, de franca a franca arcillosa.

Ensayo Biológico.

En la Figura 2 se muestran los diagramas de fertilidad más representativos de los suelos estudiados. Enseguida se discutirá el

Cuadro 2. Medias, intervalos, desviaciones estándar y coeficientes de variación de algunas características químicas y físicas de los suelos estudiados.

Característica	Media	Mínimo	Máximo	Desviación estándar	Coefficiente de variación (%)
pH agua (1:2)	5.7	4.4	6.5	0.5	8.5
pH KCl 1N (1:2)	5.0	4.3	5.6	0.3	6.5
pH NaF 1N (1:50)	11.8	11.4	12.2	0.1	2.2
CE a 25°C (ms/cm)	0.16	0.05	0.35	0.08	45.9
Materia Orgánica (%)	10.7	5.0	26.9	4.6	43.0
N Total (%)	0.52	0.32	1.07	0.18	34.7
Relación C/N	12.0	6.9	15.0	2.1	17.6
P Bray-1 (ppm)	2.4	0.4	9.7	2.8	115.2
P fijado (%)	79.0	59.3	96.7	10.2	13.0
K int (meq/100 g)	1.5	0.3	4.1	1.0	68.2
Ca int. (meq/100 g)	8.4	1.9	18.1	4.4	52.7
Mg int. (meq/100 g)	1.7	0.4	4.2	1.1	67.7
Al int. (meq/100 g)	0.31	0.08	2.15	0.42	138.1
CIC _{ef} (meq/100 g) ²	12.0	3.9	23.0	5.8	48.2
PSAl ³	4.7	0.5	42.6	9.3	198.9
Dens. apar. (g/cm ³)	0.91	0.68	1.16	0.13	14.0
CC (%)	62.0	49.0	96.0	12.0	19.6
Arcilla (%)	25.4	14.0	38.6	7.2	28.5
Limo (%)	38.4	30.7	47.5	4.0	10.5
Arena (%)	36.1	25.7	49.2	6.0	16.8
pH agua (AC) ⁴	6.4	5.0	7.3	0.6	9.5
pH agua (-P)	6.1	4.2	7.2	0.8	12.8
P Bray-1 (AC) ⁴	4.5	0.4	18.3	4.9	108.9
P Bray-1 (-P)	2.7	0.2	10.7	3.1	111.7

1 Medido a los 60 minutos

2 CIC, efectiva, calculada como la suma de cationes intercambiables

3 Calculada con base en la CIC efectiva.

4 Mediciones hechas al final del ensayo en los tratamientos Abonadura completa (AC) y fósforo (-P), respectivamente.

comportamiento presentado por los diferentes tratamientos probados, mediante el análisis de sus correspondientes líneas de fertilidad.

Fósforo.

De los 29 sitios estudiados, 18 (62%) tuvieron una disponibilidad inicial de P considerada muy baja, inferida a partir del rendimiento relativo (menor de 50%) que se obtiene al extrapolar la línea de fertilidad del tratamiento -P al tiempo cero, cinco sitios (17%) presentaron rendimientos

relativos entre 50 y 70%, es decir una baja disponibilidad de fósforo, en dos sitios estos rendimientos fueron entre 70 y 90% y sólo en cuatro (14%) fueron mayores a 90%, lo cual señala una mayor disponibilidad inicial de este elemento. La baja disponibilidad inicial de fósforo en la mayoría de los suelos se explica por la abundante presencia de alofano, estimado semicuantitativamente a partir del pH en NaF 1N (1:50). Los suelos que tienen como arcilla dominante al alofan poseen generalmente esta característica por la alta capacidad de adsorción de P. La mayor

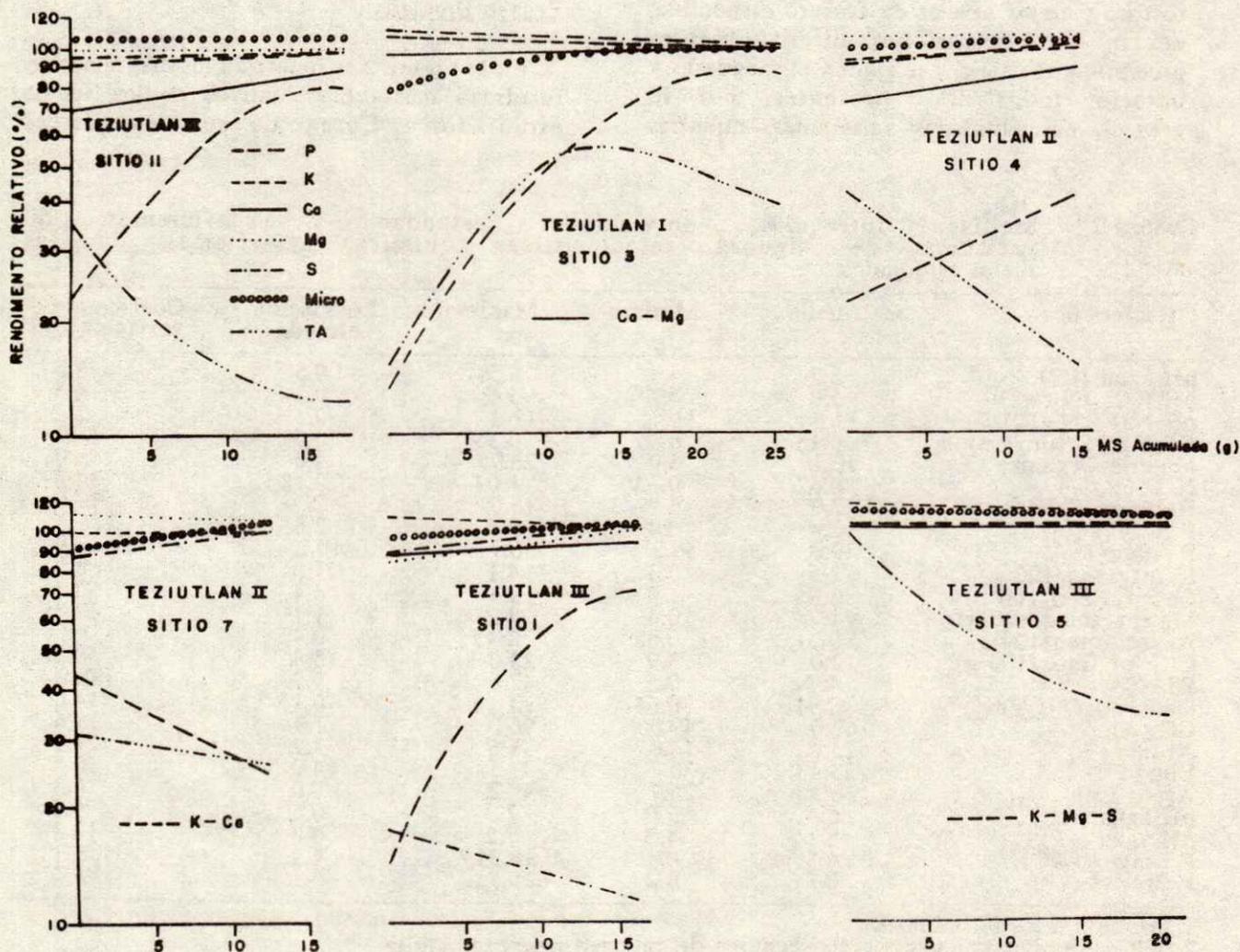


Figura 2. Diagrama de fertilidad de algunos de los suelos estudiados.

disponibilidad de P inicial en seis de los 29 suelos, se refleja en mayores concentraciones de fósforo Bray-1 y la baja fijación de fósforo. La Figura 3 muestra la alta correlación existente entre la fertilidad inicial del tratamiento -P (estimada por el método de diagrama de fertilidad de Schenkel *et al.*, 1971), y el fósforo Bray-1 ($r = 0.875$) en los suelos de la zona de Teziutlán, Puebla, lo cual señala a este método como adecuado para estimar el fósforo disponible.

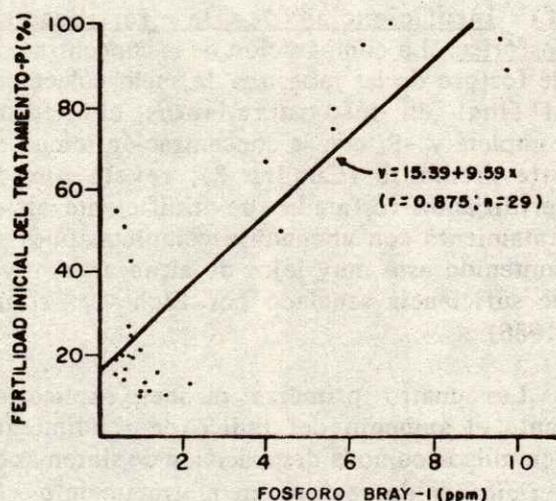


Figura 3. Correlación entre fósforo extractable Bray-1 y la fertilidad inicial del tratamiento -P en suelos volcánicos de pradera de Teziutlán, Puebla.

El comportamiento de la pendiente línea de fertilidad del fósforo (estimador de factor capacidad) en los tratamientos -P fue el siguiente: en 23 suelos (79%) se presentaron pendientes positivas, en cuatro (14%) prácticamente no hubo cambios (pendiente cero) y en dos (7%) la pendiente fue negativa. Estos dos últimos casos se explican por las características químicas desfavorables para el suministro de fósforo que presentaban las muestras (contenido de alofano, fijación de fósforo, acidez intercambiable y porcentaje de saturación con aluminio considerados como elevados), las cuales fueron obtenidas de

suelos recientemente abiertos al cultivo. El que las líneas de fertilidad del fósforo hayan tenido una pendiente prácticamente nula en tres de los suelos, se explica en parte porque su rendimiento relativo fue desde un principio cercano a 100%, es decir tenían buena disponibilidad inicial de este elemento y reservas adecuadas como lo demostró el experimento biológico.

La pendiente positiva de la línea del fósforo, así como la disminución y desaparición de síntomas de deficiencia de este elemento en el tratamiento -P de la mayoría de los suelos estudiados no era esperada. Si los suelos tenían una baja disponibilidad inicial era de suponer que esta hubiese disminuido aun más con las cosechas sucesivas. Este comportamiento se pudo deber a una o varias de las siguientes razones:

(a) Mineralización del fósforo orgánico. Se ha encontrado que en la actividad microbiana de los andosoles participan los principales grupos de microorganismos (Moriyon *et al.*, 1978); aunque por lo general ésta es baja en condiciones de campo, pero puede elevarse cuando se estimula el crecimiento microbiano en alguna forma, como son el aumento de temperatura (Moriyon *et al.*, 1978; Martínez y Ramírez, 1979) o la fertilización nitrogenada y/o fosfórica en suelos con escaso fósforo disponible (Acquaye, 1963), condiciones que se presentaron en el ensayo de invernadero y con los suelos estudiados. Si este fuese la causa el método biológico no sería apropiado para estimar la tasa de disminución de fósforo disponible.

(b) Crecimiento de las raíces. Si se supone que al inicio del experimento el desarrollo de las raíces de los tratamientos -P fue escaso y consecuentemente el volumen explorado por éstas es reducido, se podría suponer también que el abastecimiento de fósforo para las plantas fue insuficiente. Un mejor abastecimiento de P de estas plantas se lograría cuando sus raíces explorasen un mayor volumen del suelo. En contraste con esta situación, la disponibilidad de P en el tratamiento abonadura completa (empleado como

referencia), debería haber sido elevado durante todo el período del experimento si la fertilización fosfatada hubiese sido adecuada, lo cual parece no haber ocurrido. En el análisis de las muestras de suelo colectadas al final del experimento se encontró, por lo general, niveles de fósforo Bray-1 muy bajos. Todo ello es indicativo de que el fertilizante fosfatado aplicado no logró aumentar la concentración de fósforo disponible a un nivel de suficiencia en el tratamiento abonadura completa durante todo el período experimental (Cuadro 2). Esto significa que el rendimiento del tratamiento con abonadura completa (base de referencia) disminuyó en los cortes sucesivos con una tasa mayor que el rendimiento en los tratamientos -P, consecuentemente el porcentaje de rendimiento relativo de este último tratamiento aumentó.

(c) Efecto residual del fósforo aplicado con anterioridad. Se ha observado que los suelos recién abiertos al cultivo presentan menor respuesta a la aplicación de fósforo que los que se han cultivado y fertilizado con fósforo por mucho tiempo; en estos últimos el fósforo absorbido se desorbe y pasa a la solución del suelo (Schenkel y Baherle, 1983). Este proceso ocurriría principalmente en los tratamientos -P porque en los de abonadura completa el fósforo aplicado al inicio del experimento aumentaría el "pool" de fósforo disponible.

(d) Micorrización del pasto. El ballico inglés puede ser micorrizado por algunas especies fungosas del suelo como *Gigaspora margarita* (Powell, 1977) y *Rhizopogon luteolus* (Harley y Smith, 1983), pero ninguna de ellas fue encontrada en un suelo en que se analizó la población fúngica microscópica de un andosol (Martínez y Ramírez, 1979). Esto no excluye que en los suelos estudiados se pudieran encontrar estas especies o que otros hongos nativos del suelo sean capaces de micorrizar a *Lolium perenne*. Las micorrizas contribuyen a una mayor absorción de fósforo por la planta en los suelos que son pobres en fósforo, que es el caso de los tratamientos -P.

(e) Tasa de fijación de fósforo. El fósforo aplicado a suelos derivados de cenizas volcánicas sufre al principio una considerable adsorción en superficies reactivas, pero ésta va siendo cada vez menor al transcurrir el tiempo (Fassbender, 1969; Gutiérrez y Alcalde, 1984). Por lo tanto, la disponibilidad de este elemento en el tratamiento abonadura completa, sería cada vez menor y por ende los rendimientos, mientras que el suministro de fósforo en el tratamiento -P produciría rendimientos bajos pero constantes lo cual resultaría en rendimientos relativos mayores.

(f) Insuficiencia de la fertilización fosfórica. La comparación de la concentración de fósforo de las muestras de suelo colectadas al final en los tratamientos abonadura completa y -P, con la concentración inicial de este elemento (Cuadro 2), revela que la fertilización fosfatada fue insuficiente en el tratamiento con abonadura completa, pues su contenido está muy lejos de alcanzar el nivel de suficiencia señalado por Etchevers *et al.* (1986).

Las cuatro primeras razones explicarían tanto el aumento del índice de rendimiento acumulado como la desaparición de síntomas de deficiencia de fósforo en el tratamiento -P, mientras que las otras dos sólo ayudarían a explicar el incremento del rendimiento relativo.

Calcio, Potasio y Magnesio.

De los 29 suelos, 18 (62%) presentaron una fertilidad inicial relativa del tratamiento -Ca entre 70 y 90% y el resto (38%), mayor de 90%. Esta deficiencia de calcio en la mayoría de los suelos, señala la necesidad de estudiar el efecto de enmiendas calcáreas. El calcio es un elemento indispensable para tener buenas poblaciones de leguminosas en las praderas. La observación visual nos señaló que las especies de estas plantas eran escasas en la zona. Por otro lado, no se obtuvo una buena correlación entre la fertilidad inicial relativa del tratamiento -Ca y el del calcio o del aluminio intercambiable en el suelo.

Todos los suelos mantuvieron un rendimiento relativo mayor del 90% en el tratamiento -K en el transcurso del ensayo biológico, lo cual se explica por el alto contenido de este elemento en forma intercambiable en la mayoría de los suelos, posiblemente debido a su abundancia en el material parental.

Todos los suelos presentaron rendimientos relativos mayores al 90% en el tratamiento -Mg, con una excepción pero que posteriormente se recuperó. El nivel de suficiencia de magnesio intercambiable, para el caso de pastos, es menor que el encontrado por Chapman (1966) y por López (1969).

Azufre y Micronutrientes.

Sólo seis suelos (21%) presentaron una fertilidad inicial relativa de azufre entre 70 y 90%, pero luego, en cortes posteriores, lograron obtener un rendimiento relativo mayor al 90%. Esta recuperación del tratamiento -S se atribuye a una mineralización del azufre orgánico, que contribuiría a alcanzar el nivel crítico en ese tratamiento, suponiendo que la fertilización con azufre en la abonadura completa fue suficiente.

De los 29 suelos estudiados, únicamente tres (10%) presentaron una fertilidad inicial relativa de los micronutrientes de entre 70 y 90%, pero posteriormente superaron el índice de rendimiento del 90%, lo cual se atribuye a una mineralización de la materia orgánica que haría posible un aumento en la disponibilidad de micronutrientes, de manera similar a como pudo ocurrir con el azufre orgánico (Stevenson y Ardakani, 1983). El resto de los suelos mantuvieron un rendimiento relativo superior al 90% en todo el ensayo.

Testigo Absoluto.

La fertilidad inicial relativa del tratamiento testigo absoluto (TA) muestra que inicialmente el nitrógeno no fue limitante en la mayor parte de los suelos pero, posteriormente, su deficiencia pasó a ser la limitante número uno en el crecimiento del ballico, como lo revelaron el rendimiento

relativo y la aparición de síntomas de deficiencia de nitrógeno en el pasto de los tratamientos TA. Esto es confirmado por el comportamiento de las líneas de fertilidad de este tratamiento en algunos suelos I3 y I4 (Figura 2). Lo anterior indica que el nitrógeno es un elemento universalmente deficiente en los suelos por lo que debe aplicarse periódicamente con el fin de disminuir su deficiencia. Fue común encontrar líneas de fertilidad que superaron al 100%, lo cual se atribuye a un desbalance provocado por la aplicación en la abonadura completa de los nutrimentos evaluados por dichas líneas.

Es importante mencionar que el comportamiento de las líneas de fertilidad, se asemejaría a la respuesta que tendrían los suelos en condiciones de explotación intensiva, pero que no es posible hacer una extrapolación directa de las condiciones de laboratorio a campo. Jenny *et al.* (1950) observó que cuando ocurrían rendimientos relativos mayores al 50% en el invernadero por déficit de un nutrimento, raramente se observaba respuesta a la aplicación de ese nutrimento en el campo.

CONCLUSIONES

La principal limitante en la fertilidad de los suelos de pradera de Tezuitlán Puebla, sin considerar el nitrógeno, es el fósforo, cuya deficiencia, catalogada como severa, fue confirmada por métodos biológicos y químicos. En el ensayo en macetas se observó una disminución de esta deficiencia con el transcurso del tiempo, lo cual se atribuyó a varias causas: mineralización del fósforo orgánico, efecto residual del fósforo aplicado por los agricultores de la zona e insuficiencia de la fertilización fosfatada, así como una disminución de la disponibilidad de fósforo en el tratamiento abonadura completa. La metodología ensayada no permite medir la tasa de disminución del fósforo disponible en estos suelos, pero si evaluar su disponibilidad inicial.

El fósforo extractable Bray-1, un estimador independiente de la fertilidad inicial del

tratamiento -P se correlacionó bien con ésta ($r = 0.875$), lo cual significa además que es un método químico adecuado para medir la disponibilidad de este elemento en suelos derivados de cenizas volcánicas cultivadas con praderas.

El calcio fue medianamente deficiente en un 62% de los suelos estudiados, por lo que se debe tener cuidado de incluir este nutrimento como fertilizante y/o mejorador. El azufre y los micronutrientes son medianamente deficientes en el 21 y 10% de los suelos, respectivamente, mientras que el magnesio y potasio no son carentes. El tratamiento testigo absoluto reveló que el nitrógeno se vuelve muy limitante en estos suelos, por lo que no se debe descuidar su aplicación periódica.

La técnica del elemento faltante en invernadero permite diagnosticar la fertilidad actual y potencial del suelo, conocer la velocidad con que los nutrimentos se agotan o se vuelven disponibles para las plantas y correlacionar métodos de análisis químicos de suelos.

LITERATURA CITADA

- ACQUAYE, D.K. 1963. Some significance of soil organic phosphorus mineralization in the phosphorus nutrition of cocoa in Ghana. *Plant and Soil* 19: 65-80.
- ARAOS, F. 1967. Estudio de deficiencias nutritivas en muestras superficiales de Ñuble. *Agricultura Técnica (Chile)* 27: 15-20.
- CHAMINADE, R. 1965. Bilan de trois années d' experimentation en petits vases de vegetation. *Mise au point. Resultats. L'Agronomie Tropical* 20: 1101-1162.
- CHAPMAN, H.D. 1966. Diagnostic criteria for plants and soils. Quality Printing Company, Abilene, Texas. pp: 730 y 733.
- ETCHEVERS, J.D., P. ANZASTIGA A., V. VOLKE H. y G.G. ETCHEVERS. 1986. Correlación y calibración de métodos químicos para la determinación de fósforo en suelos del Estado de Puebla. *Agrociencia (México)* 65: 51-68.
- FASSBENDER, H.W. 1969. Deficiencia y fijación de fósforo en suelos derivados de cenizas volcánicas de Centroamérica In: Panel sobre suelos derivados de cenizas volcánicas de América Latina. IICA, Turrialba, Costa Rica. pp B.4.1 - B.4.10.
- GUTIERREZ, R.E. y S. ALCALDE B. 1984. Variaciones de algunas propiedades físicas y químicas en suelos de ando por la aplicación de abonos orgánicos e inorgánicos. In: A. Trinidad S. y O. Miranda J., (ed). *Los suelos de ando y sus aplicaciones en el desarrollo agrícola de la Sierra Tarasca*, 2a. ed. Colegio de Postgraduados, Chapingo, México. pp 39-68.
- HARLEY, J.L. and S.E. SMITH. 1983. *Mycorrhizal symbiosis*. Academic Press, London, Great Britain. pp. 114-115.
- JENNY, H., J. VLAMIS, and W.E. MARTIN. 1950. Greenhouse assay of fertility of California soils. *Hilgardia* 20(1): 1-18.
- LOPEZ, A.M. 1969. Problemas de fertilización en suelos derivados de cenizas volcánicas en Colombia. In: Panel sobre suelos derivados de cenizas volcánicas de América Latina. IICA, Turrialba, Costa Rica. pp C.6.1 -C.6.13
- LOPEZ R., E. 1979. Cartas geológicas de los Estados de Puebla y Tlaxcala, y Veracruz (ESC. 1:500,000). Instituto de Geología, UNAM, México, D.F.
- MARTINEZ, A.T. and C. RAMIREZ. 1979. Study of the microfungus community of an andosol. *Journal of Ecology* 67: 305-319.
- MARTINI, J.A. 1969. Caracterización del estado nutricional de los principales andosoles de Costa Rica, mediante la técnica del elemento faltante en invernadero. *Turrialba* 20: 72-84.

- MARTINI, J.A. 1970. Caracterización del estado nutrimental de los principales "latosoles" de Costa Rica, mediante del elemento faltante en el invernadero. Turrialba 19: 394-408.
- MORIYON, I., A. MARTINEZ and A. RODRIGUEZ-BURGOS. 1978. Microbiological study of an andosol. Anales de Edafología y Agrobiología. 37: 479-48
- POWELL, C. 1977. Mycorrhizas in hill country soils. V. Growth responses in rye grass. New Zealand Journal of Agricultural Research 20: 495-502.
- SCHENKEL, G. 1971. Evaluación de la fertilidad de un suelo mediante la producción de materia seca en ensayos de macetas. I. Representaciones gráficas usadas. Turrialba 21: 253-262.
- SCHENKEL, G. y P. BAHERLE. 1971. Exploración de deficiencias nutritivas con suelos en macetas. II. Método usado. Agricultura Técnica (Chile) 31: 9:24.
- SCHENKEL, G. y P. BAHERLE. 1982. Identificación de micronutrientes deficientes con ensayos de macetas. II. Método empleado con *Trifolium pratense*. Agricultura Técnica (Chile) 42: 199-207.
- SCHENKEL, G., y P. BAHERLE. 1983. Cambios de fertilidad observados en perfiles de suelos chilenos. I. Antecedentes. Agricultura Técnica (Chile) 43: 39-46.
- SCHENKEL, G., E. PINO y T. FLOODY. 1971. Exploración de deficiencias nutritivas con suelos en macetas III. Cálculo de las líneas de fertilidad sobre el diagrama de fertilidad. Agricultura Técnica (Chile) 31: 106-115.
- SCHENKEL, G., P. BAHERLE, T. FLOODY y M. GAJARDO. 1970. Exploración de deficiencias nutritivas con suelos en macetas. I. Experiencias preliminar. Agricultura Técnica (Chile) 30: 173-187.
- SCHENKEL, G., P. BAHERLE, H. FLOODY y M. GAJARDO. 1982. Exploración de deficiencias nutritivas con suelos en macetas. XXI. Comportamiento de algunas fórmulas de fertilización. Provincia de Biobío, Agricultura Técnica (Chile) 42: 1-14
- SPP. 1981. Atlas nacional del medio físico. Secretaría de Programación y Presupuesto. México, D.F.
- STEVENSON, F.J. y M.S. ARDAKANI. 1983. Reacciones de la materia orgánica que involucran a los micronutrientes en Suelos. *In*: Mortvedt, J.J., P. M. Giordano y W.L. Lindsay (comp) Micronutrientes en agricultura. (Trad. C. Vaqueiro G.) AGT Editor, México, D.F. pp 87-88.
- ZARATE V., J.L. 1986. Evaluación de la fertilidad de los suelos de pradera de la región de Teziutlán, Puebla. Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma Chapingo, Chapingo, México.

FACTORES QUE AFECTAN LA SIEMBRA EN SECO DEL MAIZ BAJO TEMPORAL

Factors Affecting Corn Planted in Dry Soil
Under Rainfed Conditions

Sergio Uribe G., Néstor Francisco N., José L. Zúñiga G.,
René Camacho C. y Antonio Turrent F.

INIFAP-CIFAP VER-CEPAP, Apartado Postal No. 43,
95640 Cd. Isla, Veracruz

Palabras clave: Vertisoles, Mollisoles,
Tratamiento a la semilla, Niveles de humedad.

Index words: Vertisols, Mollisols, Treatment of
seeds, Moisture level.

RESUMEN

La mayor parte del área dedicada a la producción de maíz en México es de temporal, que se caracteriza por una alta variabilidad en el establecimiento de las lluvias y en muchas ocasiones por condiciones edáficas adversas que dificultan el manejo del maíz en sus primeras etapas de desarrollo. La siembra en seco del maíz realizada poco antes del inicio del periodo húmedo, cuya emergencia se logra con las primeras lluvias, permite efectuar en forma oportuna y mecanizada las labores de fertilización, control de malezas y de plagas, que se dificultan debido a la coincidencia de precipitaciones abundantes y suelos arcillosos.

En esta investigación se estudió el efecto sobre la emergencia del maíz sembrado en seco de los factores: profundidad de siembra, tratamiento a la semilla, periodo sin agua,

cantidad de agua aplicada, distribución del agua y tipo de suelo. Con esta finalidad se utilizó un factorial 2^6 completo en bloque al azar con 3 repeticiones.

Se encontró que la cantidad de agua y su distribución, la profundidad de siembra y el tratamiento a la semilla son los principales factores que influyen en la siembra en seco, observándose una mayor emergencia cuando se aplicaron más de 40 mm de lámina en un sólo evento, se sembró en forma superficial y la semilla se trató con Metacaptán. En conclusión se puede afirmar que la siembra en seco constituye una alternativa viable para mejorar el manejo del maíz, estableciendo la fecha y la profundidad de siembra con base en un análisis probabilístico de las primeras precipitaciones.

SUMMARY

In Mexico most of the cultivated land for corn production is under dry farming conditions, characterized by a great variability depending upon when the rains begin, and in many cases by the presence of adverse soil conditions; making the management of the crop difficult during its early developing stage. Planting in dry soil a few days before rains begin allows for

Recibido 11-90.

fertilization, weed and pest control to be realized at the right time through mechanization, which is difficult to do in heavy soils when rains are abundant.

Thus, sprouting of corn planted in dry soil was studied as a result of amount and timing of water applied, seed treatment, planting depth, dry period soil type in a factorial desing.

It was found that plant emergence depends mainly on the first four factors and that best results obtained were when seed was treated with Metacaptan, sown just below surface soil and irrigated once with 40 mm of water. Hence, planting in dry soil, based on probabilities of occurrence of first rains to determine date and depth of planting, is a viable alternative to improved corn yields.

INTRODUCCION

Un porcentaje considerable del área dedicada al cultivo de maíz en el sur y sureste de México, lo constituyen suelos vertisoles y mollisoles. Estos suelos se caracterizan por tener buena fertilidad y en presencia de un clima cálido subhúmedo (Aw) tienen un potencial de producción alto para este cereal; sin embargo, su manejo se dificulta, sobre todo en los vertisoles.

Los vertisoles presenta varias limitantes para el cultivo, entre otras, un bajo nivel de infiltración cuando están húmedos, que origina excesos de humedad frecuentes cuando las lluvias son abundantes. Por otra parte, la velocidad de infiltración aumenta cuando se secan, adquiriendo además una consistencia dura; sin embargo, almacenan humedad suficiente que permite el crecimiento de otro cultivo sembrado al final de las lluvias (International Crops Research Institute, 1974).

Otro de los recursos ecológicos del trópico subhúmedo de México es la cantidad y la distribución de la precipitación. Esta se presenta en dos períodos: uno con lluvias abundantes en los meses de noviembre, diciembre y enero; mientras que en los meses de febrero,

marzo, abril y mayo normalmente no hay lluvias (México, Dirección de Hidrología, 1975).

Las características ecológicas descritas, así como la tecnología tradicional existente, permite un cultivo triple de maíz en relevo de frijol y en sucesión de maíz que mantiene ocupado el suelo durante todo el año.

Los autores han encontrado algunas limitantes al patrón de cultivos mencionado registrándose frecuentes excesos de humedad durante el verano y deficiencias durante el invierno (Uribe, 1983), y una demanda de 212 jornales por hectárea por año (Turrent *et al.*, 1985), que limita la superficie sembrada en función de la disponibilidad de fuerza de trabajo familiar, utilizando aproximadamente un tercio de la dotación ejidal.

Existen amplias posibilidades de incrementar la superficie sembrada con el alto índice de cultivo mencionado mediante el uso de un equipo de tracción animal denominado "Yunticultor", pero su eficiencia está limitada por la humedad del suelo y del ambiente. La mecanización de los cultivos con el Yunticultor requiere de una remoción del suelo inmediatamente después de la última cosecha; la siembra en seco del primer cultivo para que germine con las primeras lluvias y presente un crecimiento inicial más rápido que las hierbas, de tal manera que éstas puedan controlarse con un equipo cultivador acoplado a un equipo fertilizador para que ambas labores puedan realizarse en forma simultánea antes de que la alta humedad del suelo y del ambiente lo impidan.

Se ha observado que las primeras siembras de maíz de verano tienen un mayor potencial de rendimiento porque la competencia con malezas es menor, la fertilización es más oportuna y uniforme y el cultivo madura antes de que los excesos de humedad y los vientos del norte afecten el rendimiento. Por otra parte, la siembra del cultivo de frijol se realiza oportunamente; permitiendo una mejor preparación del suelo y un control más eficiente de malezas. Finalmente el maíz de invierno también se favorece con una fecha más

oportuna, reduciéndose el riesgo de ser afectado por las deficiencias de humedad.

No obstante, mediante la práctica de la siembra en seco existe un período durante el cual las semillas de maíz están expuestas a altas temperaturas, al ataque de plagas del suelo y la variabilidad en el establecimiento de las lluvias, puede ocasionar un inicio de germinación errático.

El Instituto Internacional para la Investigación de los Cultivos en el Trópico Semiárido señala como factores esenciales para obtener dos cultivos al año en suelos vertisoles: preparar las camas de siembra durante la estación anterior, y sembrar en seco antes de que el suelo esté muy húmedo y pegajoso (Internacional Crops Research Institute for the Semi-Arid Tropics, 1980).

Entre los factores que influyen durante el período desde la germinación hasta la emergencia del maíz se mencionan a la temperatura, la humedad y la profundidad de siembra. Las condiciones óptimas se presentan con temperaturas entre 18 a 22°C y una reserva de agua del suelo de 15 mm en los primeros 10 cm de profundidad. A medida que el contenido de humedad disminuye, se retarda la germinación y se inhibe con reservas de agua del suelo inferior a 5 mm en esa capa, pero además las semillas se dañan y perecen (Kulicov y Rudnev, 1980).

La variabilidad en el establecimiento de las lluvias dificulta las siembras en seco en suelos vertisoles, y por lo general se recurre a una mayor profundidad de siembra para evitar que las semillas germinen antes de que exista suficiente humedad para que las plantas sobrevivan (Internacional Crops Research Institute for the Semi-Arid Tropics, 1976).

El maíz puede brotar desde profundidades de 10 a 20 cm, aunque en la práctica es recomendable sembrar a profundidades no mayores de 8 cm (Martín and Leonard, 1949). Las siembras profundas contribuyen a un pobre establecimiento del maíz al retardar la

formación de raíces permanentes cerca del nudo coleoptilar y al prolongar el tiempo de emergencia, y por lo tanto, propiciar una mayor exposición a las plagas y enfermedades donde las siembras poco profundas son menos dañadas por plagas del suelo, porque lo seco y caliente de la capa próxima a la superficie en cierto modo repelen a las plagas.

En la literatura se sugiere una profundidad de siembra en seco del maíz de 6 cm por considerar que ofrece la flexibilidad suficiente para ajustarse a las condiciones erráticas de humedad, característica de las primeras lluvias en el trópico (Internacional Crops Research Institute for the Semi-Arid Tropics, 1975).

En este contexto, el objetivo de esta investigación fue explorar los factores que inciden en la emergencia del maíz sembrado en seco en suelos vertisoles y mollisoles, y conocer el efecto de la temperatura del suelo sobre la viabilidad de la semilla, en la región de Los Tuxtlas, Veracruz.

MATERIALES Y METODOS

El presente estudio se llevó a cabo durante la época seca, en el periodo comprendido entre la segunda quincena de marzo y la primera de mayo de 1989, en suelos vertisoles y mollisoles, localizados en los ejidos La Redonda y Río Tuxtla del municipio de San Andrés Tuxtla, Veracruz, respectivamente.

Los factores estudiados fueron: profundidad de siembra (p), tratamiento a la semilla (T), periodo sin agua (A), cantidad de agua aplicada (C), distribución del agua (D) y tipo de suelo (S), que se evaluaron a 2 niveles, respectivamente; superficial (5 cm) y profundo (15 cm), semilla tratada con BHC y Metacaptán, riegos a la primera y a las 4 semanas después de la siembra, lámina de agua insuficiente (20 mm) y suficiente (80 mm), aplicación del agua en dos eventos y en uno solo, suelos vertisoles y mollisoles.

Se utilizó un diseño factorial completo 2^6 en bloques al azar con 3 repeticiones. El tamaño de parcela fue de 1 m de largo por 0.4 m de ancho, depositándose 2 semillas de maíz cada 5 cm; la semilla utilizada, al momento de la siembra, presentaba un 99 por ciento de germinación. Los riegos se dieron los lunes y los viernes. A los 8 días del segundo riego se contaron las plantas emergidas y se extrajeron las plantas sin emerger para saber si habían germinado o presentaban ataque de plagas o enfermedades.

El efecto de la temperatura del suelo sobre la viabilidad de la semilla se estudió en 6 tratamientos (factorial 3×2), obtenidos al combinar 3 períodos de exposición: 1, 2 y 4 semanas, con dos profundidades de siembra: superficial (5 cm) y profundo (15 cm), bajo el mismo diseño experimental, con 3 repeticiones. La temperatura del suelo se registró 2 veces por semana, a las 12 h, a la profundidad de siembra respectiva. Al concluir el tiempo de exposición se extraían las semillas y se ponían a germinar, y simultáneamente se evaluaba el daño por plagas y enfermedades.

Se realizó, además un análisis probabilístico de la precipitación a nivel semanal del mes de mayo y junio de 1964 a 1989 en la estación meteorológica de Lauchapan, Veracruz, utilizando la distribución normal. Los datos se transformaron a su raíz cúbica, que fue la distribución que mejor se ajustó en un análisis probabilístico de la lluvia para la misma estación (Uribe, 1983).

RESULTADOS Y DISCUSION

En el Cuadro 1 se muestra el análisis de varianza de los resultados obtenidos acerca del número de plantas emergidas de maíz. Se presentan únicamente los efectos principales y las interacciones de 2 factores que resultaron significativos. Con base en los valores del estadístico F calculada, se observó que los factores que presentaron una mayor influencia sobre el éxito o fracaso de la siembra, son los mismos que Kulicov y Rudnev (1980) mencionan como los más importantes para la

emergencia. De igual manera, es importante el tratamiento a la semilla, el cual interacciona significativamente con la cantidad de agua. Otras interacciones que resultaron significativas son la cantidad de agua por período de exposición (C x A) y período sin agua por profundidad (A x P).

Cuadro 1. Análisis de varianza para la variable plantas de maíz emergidas, con referencia exclusiva a los factores que afectan significativamente la siembra de maíz en seco. INIFAP-CEPAP.^a 1989.

Fuente de variación ^b	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Valor Fc	Valor Ft,0.05
P	1	3 675.0	80.6	3.84
T	1	357.5	7.8	
A x P	1	776.0	17.0	
C	1	19 000.5	416.7	
C x T	1	290.5	6.4	
C x A	1	1 776.3	38.9	
D	1	2 255.0	49.5	
Error	126	5 743.5		
Total	191	37 516.7		

a INIFAP-CEPAP: Instituto Nacional de Investigaciones Forestales y Agropecuarias-Campo Experimental Papaloapan.

b P: profundidad de Siembra, T: Tratamiento a la semilla, A: Período sin agua, C: Cantidad de agua y D: Aplicación del agua en uno o dos eventos, con un intervalo de 5 días.

El porcentaje de plantas emergidas con una lámina de 20 mm, considerada como insuficiente para una adecuada brotación del maíz, se presenta en el Cuadro 2. Se observaron valores mayores cuando el riego se dió a las 4 semanas después de la siembra probablemente debido a que al final del experimento ocurrió una lluvia de 19 mm que promovió una mayor brotación, esto explica la significancia encontrada en las interacciones C x A y A x P (Cuadro 1).

Por otra parte, el número de plantas de maíz emergidas fue menor cuando el agua se aplicó en dos eventos, aún cuando el intervalo entre riegos fue de 5 días, pero como únicamente se

Cuadro 2. Porcentaje de plantas de maíz emergidas con una cantidad de agua insuficiente (20 mm lámina) INIFAP-CEPAP. 1989.

Tipo de suelo	Profundidad de siembra ^a	Período corto ^b		Período largo ^b	
		Lámina dividida	Lámina total	Lámina dividida	Lámina total
Vertisol	Superficial	2	31	25	71
	Profunda	2	23	7	11
Mollisol	Superficial	12	32	40	51
	Profunda	3	10	20	21

a La siembra superficial fue de 5 cm y profunda de 15 cm

b En período corto los riegos se hicieron a la primera semana después de la siembra, mientras que en el período largo se hicieron a la cuarta semana. En el caso de lámina dividida el agua se aplicó en dos eventos con intervalo de 5 días, mientras que en lámina total el agua se aplicó en un solo evento.

aplicaron 10 mm de lámina por evento, la humedad proporcionada no alcanzaba la profundidad de la semilla y rápidamente se evaporaba; mientras que cuando los riegos fueron de 20 mm de lámina, brotó un 30% y un 60% en siembras superficiales, en el período corto y largo, respectivamente. El mayor porcentaje en el período largo se explica por la humedad adicional que proporcionó la lluvia ligera ocurrida; sin embargo, esto indicaría que la semilla se encontraba aún en buen estado. En ambos suelos, se registró una mayor emergencia en siembras superficiales, pero la cantidad de agua aplicada resultó insuficiente para promover una buena brotación, aún cuando el agua se aplicó en un sólo evento.

En el Cuadro 3 se presentan los resultados obtenidos cuando se aplicaron 80 mm de lámina, considerada como suficiente para la brotación de la semilla del maíz. En él se observa que cuando la siembra es superficial, con la aplicación de una lámina de 80 mm dividida en 2 eventos, logra emerger más del 80% de las semillas, pero se reduce a un 50% al aumentar la profundidad de siembra. Esta diferencia entre las dos profundidades desaparece al aplicar una lámina de 80 mm, en un solo evento, una semana después de la siembra, pero se

aprecia nuevamente cuando el riego se dió 4 semanas después, quizá debido a un mayor daño por plagas del suelo (Sánchez, 1983). Resulta interesante el hecho que no se hayan encontrado diferencias notables entre los tipos de suelos, mientras que en siembras comerciales de maíz en seco, los autores han registrado un número de plantas considerablemente menor en suelos vertisoles. Uno de los factores que explica esta diferencia quizá sea la profundidad de siembra, porque en las experiencias anteriores se utilizó el equipo sembrador del yunticultor, con el que fue difícil lograr un control efectivo de la profundidad en un suelo completamente agrietado, que es la condición en que se encuentran los suelos vertisoles durante la época de seca.

De acuerdo con la información contenida en el Cuadro 3, la siembra en seco tiene más posibilidades de éxito a una menor profundidad de siembra, esto está en concordancia con lo que menciona Martín and Leonard (1949). Sin embargo, bajo esta situación el riesgo de que se inicie el proceso de germinación antes de que exista la humedad suficiente para que la planta sobreviva es alto.

Cuadro 3. Porcentaje de plantas de maíz emergidas con una cantidad de agua suficiente (80 mm de lámina). INIFAP-CEPAP. 1989.

Tipo de suelo	Profundidad de siembra ^a	Período corto ^b		Período largo ^b	
		Lámina dividida	Lámina total	Lámina dividida	Lámina total
Vertisol	Superficial	82	89	87	92
	Profunda	61	87	42	61
Mollisol	Superficial	85	91	65	83
	Profunda	58	81	32	60

a La siembra superficial fue de 5 cm y profunda de 15 cm

b En periodo corto los riegos se hicieron a la primera semana después de la siembra, mientras que en el periodo largo se hicieron a la cuarta semana. En el caso de lámina dividida el agua se aplicó en dos eventos con intervalo de 5 días, mientras que en lámina total el agua se aplicó en un solo evento.

Cuadro 4. Porcentaje de semillas de maíz germinadas que no emergieron con una cantidad de agua insuficiente (20 mm de lámina). INIFAP-CEPAP. 1989.

Tipo de suelo	Profundidad de siembra ^a	Período corto ^b		Período largo ^b	
		Lámina dividida	Lámina total	Lámina dividida	Lámina total
Vertisol	Superficial	11	38	35	15
	Profunda	2	32	1	21
Mollisol	Superficial	19	22	40	29
	Profunda	11	22	35	36

a La siembra superficial fue de 5 cm y profunda de 15 cm.

b En periodo corto los riegos se hicieron a la primera semana después de la siembra, mientras que en el periodo largo se hicieron a la cuarta semana. En el caso de lámina dividida el agua se aplicó en dos eventos con intervalo de 5 días, mientras que en lámina total el agua se aplicó en un solo evento.

En el Cuadro 4 se muestran los resultados obtenidos respecto a las semillas que germinaron con 20 mm de lámina, condición en la cual la humedad fue insuficiente para que las plantas emergieran. Se observa que la

profundidad de siembra permite proteger a la semilla de este riesgo (International Crops Research Institute for the Semi-Arid Tropics, 1976); pero sólo resultó eficiente en suelos vertisoles y con láminas de 20 mm dividida en 2

eventos iguales, mientras que en los mollisoles la germinación fue más abundante. En cambio, cuando se aplicó la misma lámina en un sólo evento, en ambos suelos, la germinación en la siembra profunda fue de alrededor del 30%. Por lo tanto, se infiere que tanto en vertisoles como en mollisoles, aproximadamente un 30% de las semillas puede morir en una siembra en seco cuando se registran precipitaciones menores o iguales a 20 mm.

El ataque de las plagas del suelo constituye también un peligro para las siembras en seco, especialmente cuando las lluvias se retrasan y la semilla está expuesta por un periodo mayor. En el Cuadro 5 se presentan los resultados obtenidos en cuanto al ataque de plagas y enfermedades. Se aprecia un mayor porcentaje de semillas dañadas en el periodo largo, debido a que habían permanecido en el suelo bajo condiciones secas durante 4 semanas. También se registró un daño mayor en siembras profundas, particularmente cuando la semilla se trató con BHC. Esta mayor incidencia de daño explica en parte la menor brotación obtenida cuando se proporcionó humedad suficiente (Cuadro 3) pero la siembra fue profunda y el riego se aplicó después de 4 semanas. De igual manera, en parte explica la significancia encontrada en las interacciones cantidad de

agua por periodo de exposición y periodo sin agua por profundidad (Cuadro 1).

Por otra parte, las temperaturas del suelo registradas a 5 cm de profundidad fueron más altas y fluctuaron entre 25 y 42°C; mientras que a 15 cm de profundidad fueron menores con una fluctuación entre 24 y 28°C. De donde se puede afirmar que el mayor daño de las plagas del suelo se presentó bajo condiciones más frescas y menos fluctuantes, lo que está de acuerdo con lo que señala Sánchez (1983).

Respecto al Metacaptán se observó que protege en forma aceptable a la semilla durante el periodo estudiado, registrándose un daño inferior al 10%; mientras que con el BHC las semillas destruidas pueden representar hasta un 36%. Se ha observado también que tratando la semilla con Furadán generalmente no se presenta daño; sin embargo, debido a que su uso es muy peligroso para la salud, se busca sustituirlo por otro producto.

Otro de los factores que pudieran limitar la siembra en seco son las temperaturas elevadas durante el mes de mayo; pero de acuerdo con los resultados obtenidos sobre la viabilidad de la semilla, más del 90% permanecen viables después de estar expuestas a temperaturas entre 30 y

Cuadro 5. Porcentaje de semillas dañadas por plagas y enfermedades cuando la cantidad de agua fue insuficiente (20 mm de lámina). INIFAP-CEPAP. 1989.

Tipo de suelo	Tratamiento de semilla con:	Periodo corto ^a		Periodo largo ^a	
		Siembra superficial	Siembra profunda	Siembra superficial	Siembra profunda
Vertisol	BHC	9	18	10	30
	Metacaptán	4	9	7	6
Mollisol	BHC	1	23	7	36
	Metacaptán	2	0	1	3

^a En periodo corto los riegos se hicieron a la primera semana después de la siembra, mientras que en periodo largo se hicieron a la cuarta semana. La siembra superficial fue de 5 cm y la profunda de 15 cm.

40°C durante 4 semanas. Sin embargo, en el presente trabajo no se cuantificó el efecto de esas temperaturas sobre el vigor, que es una característica importante para una adecuada brotación.

Ahora bien, si se toma en cuenta que bajo las condiciones del trópico subhúmedo casi la totalidad de las siembras de maíz dependen de la humedad proporcionada por las lluvias, y que las precipitaciones se caracterizan por una alta variabilidad, para conocer con cierta probabilidad las posibilidades de éxito de la siembra en seco de maíz, se requiere de un análisis probabilístico del establecimiento de las lluvias para una región específica.

Para los Tuxtlas, Veracruz, se encontró que en la primera semana de mayo, la probabilidad de que llueva es menor al 5%. En la segunda semana es de un 50% pero en un 80% las lluvias probables son menores de 20 mm y solamente con un 19% de probabilidad se presentarían lluvias mayores a 40 mm. La tercera y cuarta semana de mayo se comportan en forma similar a la segunda.

En la primera semana de junio aumenta la probabilidad de lluvia a un 75%, pero la mayor parte de las precipitaciones (70%) son menores a 20 mm. Para la segunda de junio la probabilidad de que se presenten lluvias mayores aumenta a un 60%, pero sólo en un 30% las precipitaciones superan los 40 mm; en tanto que, en la tercera y cuarta semana del mes la probabilidad de que se superen los 40 mm se incrementa 50 y 70% respectivamente.

Con base en el análisis probabilístico sobre el establecimiento del temporal en los meses de mayo y junio y a los resultados experimentales que se relatan en este trabajo, la siembra en seco de maíz puede realizarse desde la segunda semana de mayo, pero sólo en un año de 5 el maíz tendría humedad suficiente para brotar durante el mes de mayo; aunque también en 8 de 10 años la semilla permanecería en buen estado porque la magnitud de las lluvias durante este período no es suficiente para iniciar la germinación. El riesgo mayor para las semillas de una siembra en seco se presentarían en 6 de

10 años; mientras que únicamente en 3 existirían las condiciones de humedad necesarias para un buen establecimiento; situación que se incrementa a 5 y 7 años durante la tercera y cuarta semana de junio, respectivamente.

Aún cuando el período sin agua resultó no significativo en este estudio, y basándose en que la probabilidad de éxito de la siembra en seco es similar durante el mes de mayo, es conveniente disminuir el período de exposición a los otros factores ya discutidos, por lo que se sugiere realizar la siembra en seco de maíz en la última semana del mes de mayo, a una profundidad entre 5 y 8 cm, y compensar el riesgo de una germinación prematura incrementando la cantidad de semillas en un 30% a la densidad de plantas planeadas; no sería conveniente posponer la siembra aún más porque en el mes de junio la probabilidad de lluvia es mayor y aumentaría el riesgo de no realizarse en condiciones de suelo completamente seco.

CONCLUSIONES

De los resultados analizados en este trabajo se obtienen las conclusiones siguientes:

- a) La cantidad de agua y su distribución, el tratamiento a la semilla contra plagas del suelo y la profundidad de siembra, son los factores de mayor importancia que definen el éxito o el fracaso de la siembra en seco de maíz.
- b) Las láminas de agua menores de 20 mm promueven la germinación de la semilla antes de que exista humedad suficiente para que las plantas sobrevivan.
- c) La profundidad de siembra protege a las semillas en un 70% de que germinen sólo cuando se registran láminas inferiores a 20 mm.
- d) El Metacaptán es un producto que protege en forma aceptable a la semilla de maíz, del ataque de plagas del suelo.

LITERATURA CITADA

ANDREW, H.R. 1953. The influence of depth of planting and temperature upon and seedling vigor of sweet corn strains. *Agronomy Journal* 45(1): 32-35.

INTERNATIONAL CROPS RESEARCH INSTITUTE. 1974. An agro-climatic classification for evaluating cropping systems potentials in southeast asian rice growing regions. Los Baños, Laguna, Philippines.

INTERNATIONAL CROPS RESEARCH INSTITUTE FOR THE SEMI-ARID TROPICS. 1975. ICRISAT Annual Report 1974-1975. Hyderabad, India.

INTERNATIONAL CROPS RESEARCH INSTITUTE FOR THE SEMI-ARID TROPICS. 1976. ICRISAT Annual Report 1975-1976. Hyderabad, India.

INTERNATIONAL CROPS RESEARCH INSTITUTE FOR THE SEMI-ARID TROPICS. 1980. ICRISAT Research Highligts. 1979. India.

KULICOV, A.V. y RUDNEV, V.G. 1980. Agroclimatología tropical. Ministerio de Cultura. Editorial Científico-Técnica. Cuba.

MARTIN, J.H. and LEONARD, W.H. 1949. Principales of field crop production. New York. The Macmillan Co.

MEXICO. DIRECCION DE HIDROLOGIA. 1975. Estudio hidrometeorológico, planicie costera. Cuenca ríos: Coatzacoalcos, Papaloapan, Nautla, Tecolutla, Cazonas y Tuxpan. Secretaría de Recursos Hidráulicos. Tomo I.

SANCHEZ, E.J. 1983. Control cultural de plagas del suelo. *In*: II Mesa redonda sobre plagas del suelo. Universidad Autónoma Chapingo. Sociedad Mexicana de Entomología. Colegio de Postgraduados, Chapingo, México.

TURRENT *et al.* 1985. Desarrollo de un prototipo de explotación agropecuaria forestal para el trópico subhúmedo de México. México, D.F. 63 p. Mimeógrafo.

URIBE, G.S. 1983. El patrón tradicional de cultivos en la región de Los Tuxtlas, Ver., y su relación con algunas características climáticas y edáficas. Tesis Profesional. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México.

COMPORTAMIENTO DE MALEZAS EN DIFERENTES NIVELES DE HUMEDAD DEL SUELO

Weed Behavior At Different Soil Moisture Levels

Mario D. Amador Ramírez

INIFAP-Zacatecas, Campo Experimental Zacatecas,
Apartado Postal 18, 98500 Calera de V.R., Zac.

Palabras clave: Transpiración, Materia seca, Eficiencia en el uso del agua.

Index words: Transpiration, Dry matter, Leaf area, Water use efficiency.

el frijol mostró reducciones de 31, 41 y 42% en el mismo orden de parámetros. Todas las especies incrementaron su eficiencia en el uso del agua cuando la humedad del suelo disminuyó.

RESUMEN

Un experimento de dos años en invernadero fue conducido para determinar la influencia de cuatro niveles de humedad del suelo (21.4, 16.2, 14.4, 13.4%) en quelite (*Amaranthus palmeri*), zacate sabaneta (*Eragrostis diffusa*), aceitilla (*Bidens odorata*) y frijol (*Phaseolus vulgaris* var. "Bayo Zacatecas"). La transpiración total y crecimiento de las especies disminuyó conforme se redujo la humedad del suelo. El quelite mostró reducciones de 37, 29 y 23% en la transpiración total, materia seca producida y área foliar, respectivamente. Máximas reducciones de 26, 18 y 17% fueron registradas en transpiración, materia seca y área foliar del zacate sabaneta, respectivamente. En aceitilla, la producción de materia seca, área foliar y transpiración total fueron disminuídas 62, 58 y 40%, respectivamente, y

SUMMARY

A 2-yr greenhouse experiment was conducted to determine the influence of four soil moisture levels (21.4, 16.2, 14.4, 13.4%) on palmer amaranth (*Amaranthus palmeri*), tofted love-grass (*Eragrostis diffusa*), nodding beggarticks (*Bidens odorata*) and dry beans (*Phaseolus vulgaris* var. "Bayo Zacatecas"). Growth and total transpiration from each species decreased by reducing soil moisture. Palmer amaranth showed reductions of 37, 29 and 23% in total transpiration, dry matter production and leaf area, respectively. Maximum reductions of 26, 18 and 17% were recorded in tofted love-grass for total transpiration, dry matter and leaf area, respectively. Dry matter production, leaf area and total transpiration for nodding beggarticks were decreased 62, 58 and 40%, respectively, and dry beans showed reductions of 31, 41 and 42% for the same variables. All species increased their water use efficiency as soil moisture decreased.

Recibido 10-90.

INTRODUCCION

La producción de cultivos básicos en Zacatecas, está basada principalmente en la agricultura de temporal, la cual representa una superficie de 1.1 millones de hectáreas sembradas, mientras que la superficie de riego es de 73,960 hectáreas (SARH, 1987).

Los cultivos sembrados en condiciones de riego y temporal con frecuencia son infestados con malezas como quelite (*Amaranthus palmeri* S. Wats.), aceitilla (*Bidens odorata* Cav.) y zacate sabaneta (*Eragrostis diffusa* Buckl.) con una frecuencia de aparición de 24, 90 y 34% respectivamente (Aguilar, 1975). La presencia de estas malezas en los cultivos trae consigo el fenómeno de competencia por los diversos elementos esenciales para el crecimiento y desarrollo de las plantas cultivadas.

Las malezas compiten eficazmente ya que son más eficientes en el uso del agua, aunque tal eficiencia competitiva puede ser afectada por las condiciones de humedad del suelo, es decir, algunas malezas crecen bien en condiciones de suelo húmedo, otras no disminuyen su crecimiento en condiciones de suelo seco, y por último, hay malezas que crecen dos veces más en suelo seco que en húmedo (Weise y Vandiver, 1970). La avena silvestre (*Avena fatua* L.) es una hierba que necesita de suelo húmedo para un óptimo desarrollo, en cambio, si disminuye el contenido de humedad del suelo de 20% (-0.3 barias) a 10% (-6.5 barias) el crecimiento de avena silvestre suele disminuir (Akey y Morrison, 1984). Algo similar sucede con la soya (*Glycine max* L. Merrill), la cual al crecer bajo condiciones de alto estrés de humedad su producción se reduce de un 20% a un 40% (Mederski y Jeffers, 1973).

La mayor parte del contenido de los tejidos vegetales es agua, sin embargo, las plantas pierden agua continuamente, la cual pasa a la atmósfera, esto representa un serio problema al escasear el agua en el suelo. La transpiración es el medio por el cual las plantas pierden agua, por ejemplo una hectárea

con hierbas gramíneas o trébol, transpira de 1120 a 1180 toneladas métricas de agua en una estación del año (Miller, 1967). Al disminuir la cantidad de agua en el suelo la transpiración también disminuye. Miller y Gardner (1972) indican que cuando el potencial de agua del suelo aumenta de -0.25 a -0.4 bares, la transpiración se redujo un 50%. Foster (1938) establece que al aumentar la humedad del suelo se produce un incremento en la transpiración, y cuando las plantas están bajo periodos de días largos también se produce un aumento de la transpiración por gramo de peso seco.

Aspectos morfológicos como la materia seca y área foliar de las plantas también son afectados por las condiciones de humedad. Scott y Geddes (1979) observaron producciones bajas de materia seca y área foliar de *Xanthium pensylvanicum* cuando se sometió a estrés de agua y competencia con soya *Glycine max* (L). Otros investigadores también han observado reducciones de la materia seca y área foliar cuando las plantas han sido sometidas a niveles críticos de humedad (Akey y Morrison, 1984; Chan y Fowler, 1987; Chan, 1985).

Existen plantas sensibles al fotoperíodo como *Amaranthus spp.*, la cual en condiciones de días cortos acelera su floración y crece poco, mientras que en días largos retarda su floración y presenta gran desarrollo vegetativo (Rojas Garcidueñas y Rovalo, 1985).

Con respecto al uso del agua, las plantas tienden a eficientar la humedad del suelo en la medida que ésta disminuye (Sawada y Sugai, 1984). Un aspecto interesante es que las malezas son más eficientes en el uso del agua que las especies cultivadas al producir mayor cantidad de materia seca por cada unidad de agua perdida por transpiración (Geddes *et al.*, 1979; Fabricius y Nalewaja, 1968).

El objetivo del estudio fue determinar la respuesta de tres especies de maleza y una especie cultivable al crecer en diferentes condiciones de humedad del suelo.

MATERIALES Y METODOS

El presente experimento se desarrolló en el invernadero del Campo Experimental Zacatecas durante 1986 y 1987.

Las malezas en estudio fueron el quelite *Amaranthus palmeri*, zacate sabaneta *Eragrostis diffusa*, y aceitilla *Bidens odorata*. La planta cultivada fue el frijol *Phaseolus vulgaris* var. "Bayo Zacatecas". Las especies fueron sometidas a cuatro niveles de consumo de humedad, derivados de la humedad aprovechable correspondiente a 26.3% de capacidad de campo y 13.43% de punto de marchitez permanente.

El suelo utilizado fue de textura franca con 36% de arena, 37% de limo y 27% de arcilla.

Las especies vegetales fueron sembradas en bolsas negras de polietileno previamente rellenas con 2 kilogramos de suelo.

En los dos años de estudio se sembraron las cuatro especies, solo que en 1986 únicamente se realizó la evaluación con el quelite, zacate sabaneta y frijol, mientras que la evaluación de la aceitilla no se logró por fallas en la germinación debido al fracaso en el rompimiento de su letargo. En 1987, la evaluación del frijol no fue posible debido a un fuerte ataque de virosis, por lo que las especies evaluadas fueron quelite, zacate sabaneta y aceitilla.

Una vez sembradas las semillas en las macetas, la humedad se mantuvo en capacidad de campo hasta la primer hoja trifoliada en donde se le consideró como inicio del estudio.

Los tratamientos consistieron en el abatimiento de humedad del suelo hasta los siguientes niveles: 21.4, 16.2, 14.4 y 13.4 por ciento correspondientes a -1, -5, -10 y -15 barias de tensión, después de lo cual se restituía la humedad hasta capacidad de campo, y así sucesivamente. Cabe mencionar que la relación del abatimiento de humedad en por ciento con respecto a las barias de tensión

fue obtenida a través de la curva de retención de humedad del suelo, la cual fue determinada en membranas y ollas de presión.

Las lecturas de pérdida y restitución de humedad se realizaron diariamente durante un lapso aproximado de 90 días equivalente a cuando el frijol llegó al estado de madurez fisiológica.

Para evitar un posible enmascaramiento en la pérdida de humedad por transpiración, las bolsas fueron cerradas con una banda elástica, ya que se permitió el crecimiento y desarrollo de un sola planta por maceta, a la cual se le colocó algodón alrededor del tallo para no lastimarlo.

El experimento se estableció en un arreglo factorial combinatorio en un diseño completamente al azar con seis repeticiones en el primer año y diez repeticiones en el segundo.

Las variables utilizadas para medir el efecto de los diversos niveles de humedad fueron transpiración, materia seca, área foliar y eficiencia en el uso del agua.

Para conocer la pérdida de agua por transpiración se realizaron mediciones diarias del peso de la maceta. La pérdida de peso de la maceta determinó la intensidad de la transpiración (Miller, 1967). La medición de peso se realizó por las mañanas y se regaron a capacidad de campo aquellos macetas que alcanzaron los niveles establecidos.

La medición de área foliar se efectuó al término del experimento mediante un integrador de área foliar marca Li-COR modelo LI-3100.

Para cuantificar la materia seca, cada planta se cortó al ras del suelo y la parte aérea se puso a secar en condiciones naturales. Para determinar la eficiencia en el uso del agua se dividieron los gramos de materia seca entre los centímetros cúbicos de agua transpirada.

RESULTADOS Y DISCUSION

Transpiración.

Las especies con mayor volumen de agua transpirada fueron el frijol y la aceitilla *Bidens odorata* y la tendencia general fue reducir la transpiración en la medida en que el consumo de agua se aproximaba al punto de marchitez permanente (Cuadro 1). Esta respuesta concuerda con lo reportado por Miller y Gardner (1972) y con Foster (1938), quienes mencionan que al reducirse la humedad de suelo la transpiración se reduce.

Una notable excepción es la presentada por el zacate sabaneta *Eragrostis diffusa* durante 1986 cuya transpiración aumentó en lugar de descender. Tal parece que el zacate sabaneta se adaptó a niveles medios y bajos de humedad del suelo, lo anterior concuerda con Weise y Vandiver (1970); estos investigadores mencionan que algunas especies de malezas no reducen su crecimiento en condiciones de suelo a punto de marchitez permanente (PMP), inclusive crecen mejor en un suelo a PMP que en un suelo mantenido a capacidad de campo.

Materia Seca y Area Foliar.

En las cuatro especies vegetales la respuesta de las plantas fue de disminuir su materia seca según el abatimiento de humedad del suelo a que fue sometida (Cuadro 2), con excepciones en quelite y zacate sabaneta.

Algo similar sucede con el área foliar de las cuatro especies en estudio (Cuadro 3), las cuales experimentaron un decremento del área en las plantas cuyo consumo se acercó al punto de marchitez permanente.

Esta respuesta de las plantas está acorde con lo observado por Genova y Palacios (1985) y por Mederski y Jeffers (1973), quienes señalan que algunas plantas optimizan su rendimiento mientras no descienda la humedad del suelo, pero cuando crecen en condiciones de estrés de humedad, reducen su producción de 20 a 40%, tal como sucedió en 1987.

En forma general las especies en estudio al crecer en un suelo con poco abatimiento de humedad, presentan gran desarrollo vegetativo, por lo que tienen mayor producción de materia

Cuadro 1. Transpiración total de cuatro especies vegetales en cuatro niveles de consumo de humedad del suelo. Calera V.R. Zac.

Nivel de humedad (%)	Especie							
	A. palmeri		E. diffusa		B. odorata		Ph. vulgaris	
	1986	1987	1986	1987	1986	1987	1986	1987
	cm ³ agua/planta							
21.4	2057 a	3964 a	1132 a	3667 a	-	7201 a	5621 a	-
16.2	2428 a	2908 b	1841 a	2870 b	-	5161 b	4275 b	-
14.4	1469 a	2544 b	1307 a	2690 bc	-	3856 c	4200 b	-
13.4	1549 a	2258 b	1398 a	2177 c	-	2738 d	3233 b	-

*Capacidad de campo = 26.3%

Punto de marchitez permanente = 13.4%

Medias con la misma letra dentro de una columna no son significativamente diferentes ($P < 5\%$) según la prueba de Tuckey.

Cuadro 2. Producción de materia seca de cuatro especies en cuatro niveles de consumo de humedad del suelo. Calera V.R. Zac.

Nivel de humedad (%)	Especie							
	A. palmeri		E. diffusa		B. odorata		Ph. vulgaris	
	1986	1987	1986	1987	1986	1987	1986	1987
	gramos/planta							
21.4	8.0 a	23.5 a	1.7 b	25.5 a	-	21.0 a	6.7 a	-
16.2	9.8 a	18.0 b	4.1 a	20.2 bc	-	16.0 b	5.3 a	-
14.4	7.0 a	17.4 b	4.1 a	22.2 ab	-	10.0 c	5.4 a	-
13.4	7.5 a	14.9 b	4.9 a	17.4 c	-	8.9 c	4.6 a	-

*Capacidad de campo = 26.3%

Punto de marchitez permanente = 13.4%

Medias con la misma letra dentro de una columna no son significativamente diferentes ($P < 5\%$) según la prueba de Tuckey.

Cuadro 3. Área foliar de cuatro especies vegetales en cuatro niveles consumo de humedad del suelo. Calera V.R., Zac.

Nivel de humedad (%)	Especies							
	A. palmeri		E. diffusa		B. odorata		Ph. vulgaris	
	1986	1987	1986	1987	1986	1987	1986	1987
	cm ² /planta							
21.4	99.9 b	456.7 a	3.3 a	266.1 ab	-	592.5 a	368.1 a	-
16.2	198.9 a	466.1 a	4.2 a	289.5 ab	-	552.7 a	332.0 a	-
14.4	102.5 b	458.8 a	4.7 a	341.1 a	-	423.1 b	347.7 a	-
13.4	101.9 b	411.4 a	7.0 a	216.6 b	-	355.6 b	216.1 b	-

*Capacidad de Campo = 26.3%

Punto de marchitez permanente = 13.4%

Medias con la misma letra dentro de una columna no son significativamente diferentes ($P < 0.05$) según la prueba de Tuckey.

seca y área foliar, y conforme aumenta el abatimiento de humedad próximo al punto de marchitez permanente se producen reducciones en los componentes morfológicos anteriormente mencionados. Esta aseveración coincide con lo mencionado por Akey y Morrison (1984), ellos concluyen que al crecer las plantas en condiciones de baja humedad del suelo disminuye su producción de materia seca y área foliar. Es necesario notar algunas excepciones, como lo observado en el zacate sabaneta cuya respuesta fue ascendente en lugar de disminuir, tanto en transpiración como en materia seca y área foliar. Esta respuesta del zacate sabaneta bien podría adaptarse a las conclusiones de Weise y

Vandiver (1970) en el sentido de que existen malezas que crecen dos veces más en un suelo a punto de marchitez permanente, solo humedecido ligeramente por arriba de este nivel, que en un suelo mantenido a capacidad de campo.

Eficiencia en el Uso del Agua.

De las especies estudiadas, la menos eficiente en el uso del agua fue el frijol (Cuadro 4). Al parecer, el frijol al igual que otras plantas cultivadas, al ser domesticado y después de muchas generaciones de selección se ha tornado menos competitivo

que las malezas, es decir, se ha hecho menos eficiente en el uso del agua para producir materia seca por unidad de agua. Algo parecido sucedió en soya al crecer sin competencia de *Xanthium pennsylvanicum*, es decir, fue menos eficiente en el uso del agua que la maleza (Geddes *et al.*, 1979). Asimismo el trigo (*Triticum aestivum*) utilizó más agua para producir un gramo de materia seca que el trigo sarraceno (*Polygonum convolvulus*) (Fabricius y Nalewaja, 1968).

En ambos años de estudio las cuatro especies manifestaron la tendencia de aumentar su eficiencia en el uso del agua en la medida que aumentó el nivel de consumo de humedad. Estos resultados son similares, aunque en diferentes especies vegetales, a los reportados por Sawada y Sugai (1984), puesto que estos investigadores señalan que las especies de *Plantago* se vuelven más eficientes en el uso del agua al reducirse la humedad del suelo.

Existen diferencias en los valores de transpiración, materia seca y área foliar de *A. palmeri* y *E. diffusa* de 1986 con respecto a 1987; en este último año, los valores de las variables son mayores. El incremento producido puede ser atribuido al fotoperíodo, ya que en 1987 el estudio se realizó en abril-julio y esta época se caracteriza por registrar días más largos que en la época comprendida de septiembre-noviembre cuando se realizó la evaluación de 1986. Lo anterior concuerda con Foster (1938), quien

indica que bajo períodos de días largos, la transpiración aumenta. Otra respuesta de la planta, específicamente de *Amaranthus spp.*, es el retraso de la floración y gran desarrollo vegetativo, mientras que en condiciones de días cortos sucede lo contrario (Rojas Garcidueñas y Rovalo, 1985).

CONCLUSIONES

La tendencia generalizada de las especies *Amaranthus palmeri*, *Bidens odorata* y *Phaseolus vulgaris* fue disminuir la transpiración, materia seca y área foliar, en la medida en que el consumo de humedad se aproximó al punto de marchitez permanente. Por el contrario, la respuesta del zacate *Eragrostis diffusa* fue de incremento en las variables anteriormente mencionadas.

Las cuatro especies vegetales fueron más eficientes en el uso del agua cuando el consumo de humedad del suelo se acercó al punto de marchitez permanente, con respecto a cuando el consumo sólo involucró un escaso abatimiento de humedad del suelo.

Las malezas *A. palmeri*, *E. diffusa* y *B. odorata* se deben combatir cuando se observen en un cultivo de frijol, ya que éstas pierden menos agua por transpiración que el frijol. Además, tienen una producción mayor de materia seca, es decir, son más eficientes en la utilización del agua que la planta cultivada.

Cuadro 4. Eficiencia en el uso del agua de cuatro especies vegetales en cuatro niveles de consumo de humedad del suelo. Calera V.R., Zac.

Especie	Nivel de humedad (%)							
	1986				1987			
	21.4	16.2	14.4	13.4	21.4	16.2	14.4	13.4
	mg MS/cm ³ agua				mg MS/cm ³ agua			
A. palmeri	3.9	4.04	4.76	4.8	5.9	6.2	6.8	6.6
E. diffusa	1.15	2.24	3.12	3.51	6.9	7.0	8.2	8.0
B. odorata	-	-	-	-	2.9	3.1	2.6	3.2
Ph. vulgaris	1.2	1.24	1.29	1.43	-	-	-	-

*Capacidad de campo = 26.3%

Punto de marchitez permanente = 13.4%

LITERATURA CITADA

- AGUILAR A., S. 1975. Determinación de la época crítica de competencia entre el frijol (Bayo Baranda) y las malas hierbas. Informes de Investigación. Programa Combate de Malezas. CAEZAC-CIANE-INIA.
- AKEY C.W. and I.N. MORRISON. 1984. Effects of soil moisture on the vegetative growth of wild oat (*Avena fatua* L.) Weed Sci. 32: 625-630.
- CHAN C., J.L. 1985. Uso del agua por los vegetales. Cuadernos de Investigación # 25. Universidad Autónoma de Zacatecas.
- CHAN C., J.L. y J.L. FOWLER. 1987. Relaciones internas del agua y la planta en crambi (*Crambe abyssinica* Hochst). Fitotecnia 10: 111-124.
- FABRICIUS L.J. and J.D. NALEWAJA. 1968. Competition between wheat and wild buckwheat. Weed Sci. 16: 204-208.
- FOSTER C.A. 1938. The effect of certain fungicides and environmental on the rate of transpiration of tomato. Amer. J. Bot. 25: 12. Suppl.
- GEDDES R.D., H.D. SCOTT y L.R. OLIVER. 1979. Growth and water use by common cocklebur (*Xanthium pensilvanicum*) and soybeans (*Glycine max*) under field conditions. Weed Sci. 27: 206-212.
- GENOVA B., J.L. y E. PALACIOS V. 1985. Respuesta de la papa (*Solanum tuberosum*) a niveles de humedad del suelo en dos etapas fenológicas y a la fertilización nitrogenada. Agrociencia 59: 55-70.
- MEDERSKI H.J. and D.L. JEFFERS. 1973. Yield response of soybean varieties grown at two soil moisture stress levels. Agron. J. 65: 410-412.
- MILLER V.E. 1967. Fisiología vegetal. Ed. UTEHA. México.
- MILLER A.A. and R.W. GARDNER. 1972. Effect of the soil and plant water potentials on the dry matter production of snap beans. Agron. J. 64: 559-562.
- ROJAS GARCIDUEÑAS, M. y M. ROVALO M. 1985. Fisiología vegetal aplicada. McGraw-Hill. México.
- SAWADA S. and M. SUGAI. 1984. Responses of transpiration and CO₂ exchange characteristics to soil moisture stress in four *Plantago* species. Photosynthetica 18: 34-42.
- SCOTT H.D. and R.D. GEDDES. 1979. Plant water stress of soybean (*Glycine max*) and common cocklebur (*Xanthium pensilvanicum*): A comparison under field conditions. Weed Sci. 27: 285-289.
- SECRETARIA DE AGRICULTURA Y RECURSOS HIDRAULICOS. 1987. Evaluación definitiva de los cultivos agrícolas. Ciclo 1986-86 del Estado de Zacatecas. (Mimeografiado).
- WEISE F.A. and W.C. VANDIVER. 1970. Soil moisture effects on competitive ability of weeds. Weed Sci. 18: 518-519.

RELACION ENTRE LOS PROCEDIMIENTOS OLSEN Y BRAY-1 DE EXTRACCION DE P, EVALUADOS EN SUELOS ACIDOS DE TLAXCALA

Relationship Between the Olsen and Bray-1 Procedures of P-Extractable Determination, Evaluated in Acid Soils of Tlaxcala

Lourdes Cruz H. y Jorge D. Etchevers B.

Centro de Edafología, Colegio de Postgraduados
56230 Montecillo, México

Palabras clave: P-Olsen y P-Bray-1

Index words: Olsen-P y Bray-1-P

RESUMEN

En México, las soluciones extractoras de P del suelo más empleadas son las de Bray-1 y Olsen, por su mejor comportamiento en la mayoría de las áreas estudiadas.

Los modelos analíticos usados para predecir las necesidades de fertilización, a menudo requieren de un índice de disponibilidad de P. Este índice generalmente es el P extractable Olsen, porque posee una fundamentación teórica más sólida. Sin embargo, no siempre se cuenta con este dato. El presente trabajo tiene por objetivo establecer si existe alguna asociación entre los valores de P extractable obtenidos por los métodos Bray-1 y Olsen, en los suelos de Tlaxcala y en caso afirmativo, el grado de ésta y cómo la afecta el pH del suelo.

SUMMARY

Theoretical models to predict fertilizer need by agricultural crops often require an

index of soil-P availability. The most frequently used index is Olsen extractable-P because of the solid theoretical foundation behind its chemical action. However, Olsen-P is not always available. In México, available soil-P is commonly measured by either Bray-1 or Olsen methods. The objective of the present work was to determine the relationship between these two soil chemical procedures for soil in the state of Tlaxcala (Mexico), and to establish the strength of this association as well as the effect of different levels of soil pH on it.

INTRODUCCION

El éxito del análisis químico empleado con fines predictivos de la fertilidad de suelo, se basa en la elección apropiada del extractante, la cual se realiza mediante el procedimiento de correlación. En el caso del P, cuando no se cuenta con esa información, el extractante se selecciona por el pH del suelo.

La información bibliográfica recopilada por Etchevers *et al.* (1986), acerca de los experimentos de correlación y calibración reportados en México, muestra que los procedimientos Bray-1 y Olsen son los más comúnmente empleados y observan un buen comportamiento en casi todas las áreas estudiadas.

Recibido 4-91.

En un trabajo previo, Cruz (1990) señala que los suelos de Tlaxcala son en su mayoría ácidos, ya que el 78% de las muestras analizadas (de un total de 275) tienen un pH igual o inferior a 6.5, y su valor medio general fue de 5.9. Por tanto, para el pH de los suelos del estado, el extractante idóneo debería ser uno con reacción ácida. Sin embargo, ha sido demostrado por Cáceres (1973) y González (1975) que el P obtenido con el extractante Olsen, es el que mejor se correlacionó con ciertos estimadores del rendimiento de maíz, en los suelos mencionados. No obstante, el método Bray-1 ha sido seleccionado por diversos autores citados por Etchevers *et al.* (1986), como el más eficiente para predecir los niveles de P en los suelos del área central alta de México.

Cruz (1990) y Pinochet (1989) determinaron las necesidades de fertilización fosfatada de varios cultivos mediante un modelo analítico, para lo cual usaron el valor de P extractable Olsen, ya que éste proporciona un índice relativo de la cantidad de P que puede ser absorbida por la planta y sobretodo porque lo apoya un sólido fundamento teórico (Barrow y Shaw, 1976 a, b y c). Sin embargo, no siempre se cuenta con dicho dato y puesto que los métodos más usuales en México son el Bray-1 y Olsen, es deseable que los resultados obtenidos con un procedimiento puedan ser expresados en términos del otro, con el fin de poder hacer transformaciones y comparaciones con los mismos.

Los objetivos del presente trabajo fueron establecer si existe alguna asociación entre el P extractable por los métodos Bray-1 y Olsen en suelos ácidos de Tlaxcala, el grado de ésta y cómo la afecta el pH del suelo.

MATERIALES Y METODOS

Las muestras de suelo (0 a 20 cm) se colectaron en plantaciones de maíz y de cebada en el estado de Tlaxcala, durante los meses de junio y agosto de 1987, se secaron al aire y se tamizaron empleando una malla de 2 mm. Mayor información acerca de los suelos

estudiados es reportada por Cruz (1990) y Rodríguez (1987).

Se seleccionaron 211 muestras de suelo con reacción ácida ($\text{pH} < 6.6$), distribuidas en todo el estado de Tlaxcala y, se estratificaron en cinco niveles, de acuerdo a su pH. Dichos niveles de pH fueron: $4.0 < 4.5$; $> 4.5 < 5.0$; $> 5.0 < 5.5$; $> 5.5 < 6.0$; y $> 6.0 < 6.6$. A las muestras se les determinó el P extractable mediante los procedimientos Olsen (Olsen *et al.*, 1954) y Bray-1 (CSTPA, 1980).

A los valores obtenidos de P Olsen y Bray-1, se les ajustó una regresión lineal simple, con el fin de obtener la ecuación de la recta y el coeficiente de correlación, para cada intervalo de pH y para la totalidad de los suelos estudiados.

RESULTADOS Y DISCUSION

En el Cuadro 1 se presentan las ecuaciones de regresión y los coeficientes de correlación resultantes de las asociaciones observadas entre el P Olsen y el P Bray-1, en los suelos correspondientes a cada intervalo de pH y en la totalidad de ellos.

Como se observa en el Cuadro 1, en los suelos correspondientes a las cinco categorías de pH y en la totalidad de ellos, se presentaron coeficientes de correlación positivos y elevados, lo cual indica que al incrementarse el valor de P Bray-1 también lo hace el P Olsen, pero en distinta proporción, lo que se manifiesta en las ecuaciones de regresión.

En general, los coeficientes de correlación se incrementan a medida que disminuye la acidez del suelo; esto significa que la acción del NH_4F y del NaHCO_3 sobre los suelos se va haciendo similar a medida que el pH de los mismos se acerca a la neutralidad.

A pesar de que los extractantes usados en este trabajo exhiben diferentes pH, mecanismos de reacción y especificidad, los valores de P

Cuadro 1. Ecuaciones lineales de regresión, el coeficiente de correlación y el número de muestras, para los suelos de Tlaxcala correspondientes a cada intervalo de pH, y a la totalidad de ellos.

pH	r	Ecuaciones	No. muestras
4.0 < 4.5	0.76	P Olsen = 7.93 + 0.449 P Bray-1	n = 7
> 4.5 < 5.0	0.87	P Olsen = 4.09 + 0.579 P Bray-1	n = 33
> 5.0 < 5.5	0.93	P Olsen = 3.51 + 0.522 P Bray-1	n = 47
> 5.5 < 6.0	0.92	P Olsen = 3.06 + 0.582 P Bray-1	n = 68
> 6.0 < 6.6	0.96	P Olsen = 2.46 + 0.678 P Bray-1	n = 56
> 4.0 < 6.6	0.93	P Olsen = 4.02 + 0.553 P Bray-1	n = 211

obtenidos con ellos, presentaron asociaciones altas, de manera general y para cada una de las categorías de pH. Una observación de naturaleza similar fue hecha por Anzástiga (1984) en suelos de Puebla, al obtener una $r = 0.752$ entre el P Bray-1 y el Olsen. Aproximadamente el 65% de los suelos del mencionado estudio tuvo pH neutros y ácidos.

Thomas y Peaslee (1973) expresaron que los iones F^- activos en el extractante Bray-1 liberan más P que los iones HCO_3^- , que constituyen a la solución Olsen, lo cual coincide con lo demostrado en este trabajo, donde por cada ppm de Bray-1 extraído se obtuvo un promedio de 0.55 ppm de P Olsen.

CONCLUSIONES

Se demostró que es posible transformar los resultados de P Bray-1 a P Olsen y viceversa, ya que estos se relacionan en una proporción definida. El efecto del pH en esta relación es pequeño, aunque tiende a incrementarse ligeramente. A pH cercanos a 4, un cambio de una ppm de P Bray-1 corresponde a un valor de 0.45 ppm de P Olsen, en tanto que a un pH cercano a la neutralidad, la relación anterior es próxima a 0.68. En promedio, para todos los suelos de Tlaxcala estudiados, la variación fue de 0.55 ppm de P Olsen por cada ppm de P Bray-1.

LITERATURA CITADA

ANZASTIGA A., P. 1984. Correlación y calibración de métodos químicos para la determinación de fósforo disponible en suelos del estado de Puebla. Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma del Estado de México.

BARROW, N.J. and T.C. SHAW. 1976a. Sodium bicarbonate as an extractant for soil phosphate. I. Separation of the factors affecting the amount of phosphate displaced from soil from those affecting secondary adsorption. *Geoderma* 16: 91-107.

BARROW, N.J. and T.C. SHAW. 1976b. Sodium bicarbonate as an extractant for soil phosphate. II. Effect of varying the condition of extraction on the amount of phosphate initially displaced and on the secondary adsorption. *Geoderma* 16: 109-123.

BARROW, N.J. and T.C. SHAW. 1976c. Sodium bicarbonate as an extractant for soil phosphate. III. Effects of the buffering capacity of a soil for phosphate. *Geoderma* 16: 273-283.

CACERES R., J.H. 1973. Correlación y calibración de cinco métodos de fósforo asimilable en suelos de la Mesa Central de México. Tesis de Maestría en Ciencias. Colegio de Postgraduados. Chapingo, México.

CRUZ H., M.L. 1990. Establecimiento de la 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.

CSTPA. Council on Soil Testing and Plant Analysis. 1980. Handbook on reference methods for soil testing. Athens, Georgia.

ETCHEVERS B., J.D., P. ANZASTIGA A., V. VOLKE H. y G.G. ETCHEVERS. 1986. Correlación y calibración de métodos químicos para la determinación de fósforo disponible en suelos del estado de Puebla. *Agrociencia* 65: 161-178.

GONZALEZ E., D.R. 1975. Predicción de la respuesta del maíz a la fertilización fosfatada en el estado de Tlaxcala, basada en la disponibilidad de fósforo del suelo y otras variables de sitio. Tesis de Maestría en Ciencias. Colegio de Postgraduados. Chapingo, México.

OLSEN, S.R., C.V. COLE, F. WATANABE and L.A. DEAN. 1954. Estimation of available phosphorus in soils by extraction with sodium bicarbonate. U.S. Dept. Agric. Circ., 939.

PINOCHET T., D. 1988. Modelo simple para la estimación de la fertilización fosforada de los cultivos. Tesis de Maestría en Ciencias. Universidad Católica de Chile. Santiago de Chile.

RODRIGUEZ S., J. 1987. Desarrollo de normas de fertilización para el cultivo de maíz y la cebada en el estado de Tlaxcala. Centro de Edafología. Colegio de Postgraduados, Montecillo, México.

THOMAS, G.W., and D.E. PEASLEE. 1973. Testing soils for phosphorus. *In:* L.M. Walsh and J.D. Beaton (Eds.). Soil testing and plant analysis. pp: 115-131.

**INDICE DE AUTORES
AUTHOR INDEX**

- Alcántar G., G. 59
 Alfaro S., G. 24
 Amador R., M.D. 230
- Briones S., G. 186
- Camacho C., R. 221
 Cano G., M.A. 47
 Cervantes-T., E. 11
 Cruz H., L. 204, 337
- Chapa G., S.M. 186
- Espinosa-V., D. 173
 Estrada B.W., J.W. 104
 Etchevers B., J.D. 3, 87, 204
 210, 237,
- Ferrera-C., R. 87, 173
 Francisco N., N. 221
- Galvis S., A. 3
 Gandoy-B., W. 33
 Garza V., S.Z. 186
- Ibarra J., L. 150
 Inzunza I., M.A. 129, 157
- Jímenez J., A.Ma. 79
- Larqué-S., A. 173
 Lasso M., L.M. 97
 Luna D., E. 186
- Mancilla, R. 122
 Martínez G., M.A. 139, 145
 Martínez R., L.M. 97
 Medina M., M.C. 52, 69
 Meza-D., S. 11
- Ortiz F., P. 164
 Olalde-P., V. 79
 Orozco Ch., F. 24
 Orozco V., F. 164
- Palacios V., E. 157
 Peña-C., J.J. 79
 Pimentel E., J.L. 197
 Pool-N., L. 11
- Quintero L., R. 87
- Rodríguez P., A. 150
 Rodríguez S., J. 3, 204
 Ruíz V., J. 47
- Sandoval V., M. 104
 Solano R., V.D. 164
 Sotres R., D. 87
- Tirado T., J.L. 59
 Turrent F., A. 221
- Uribe G., S. 221
- Valdez-C., R.D. 114
 Velazquez M., M. 197
 Venegas G., J. 197
- Zárate V., J.L. 210
 Zúñiga G., J.L. 221

**REVISORES QUE HAN COLABORADO CON LA
REVISTA TERRA DURANTE 1991**

DR. LORENZO ACEVES NAVARRO, Montecillos
DR. GABRIEL ALCANTAR GONZALEZ, Montecillos
DR. HUGO ALEJO VELASCO MOLINA, Monterrey
M.C. JORGE ALVARADO LOPEZ, Montecillos
M.C. MA. EDNA ÁLVAREZ SANCHEZ, Chapingo
DR. MANUEL ANAYA GARDUÑO, Montecillos
M.C. ANGEL G. BRAVO LOZANO, Zacatecas
M.C. JAVIER Z. CASTELLANOS, Celaya
M.C. PABLO M. CORAS MERINO, Chapingo
M.M. JAIME CRUZ DIAZ, Montecillos
DR. LEWIS ARTHUR DANIELS MOSER, Jiutepec
DR. LUIS FERNANDO FLORES LUI, Cd. Lerdo
M.C. ARTURO GALVIS SPINOLA, Montecillos
M.C. WILLIAM GANDROY BERNASCONI, Chapingo
M.C. GABRIEL HARO AGUILAR, Montecillos
M.C. RODOLFO JASSO IBARRA, Cd. Lerdo
M.C. REGULO LEON ARTETA, Xalapa
DR. RICARDO HUGO LIRA SALDIVAR, Saltillo
DR. REGGIE J. LAIRD, Montecillos
ING. BENITO MARTINEZ HURTADO, Chapingo
DR. ROBERTO NUÑEZ ESCOBAR, Montecillos
ING. JESUS H. NUÑEZ MORENO, Hermosillo
DRA. KLAUDIA OLESCHKO, Montecillos
DRA. MARIA LUISA ORTEGA DELGADO, Chapingo
DR. ENRIQUE PALACIOS VELEZ, Naucalpan
ING. GUADALUPE PALOMINO URBALEJO, Montecillos
M.C. ROBERTO QUINTERO LIZAOLA, Montecillos
M.C. ROSA MARIA RAMIREZ GAMA, México, D.F.
M.C. JOSE DONALDO RIOS BERBER, Montecillos
M.C. JORGE RIVERA DIAZ, Chapingo
DR. MARCOS SOTO HERNANDEZ, Montecillos
DR. LEONARDO TIJERINA CHAVEZ, Montecillos
M.C. JORGE L. TOVAR SALINAS, Montecillos
DR. JAIME XAVIER UVALLE BUENO, Cd. Obregón
M.C. MIGUEL ANGEL VERGARA SANCHEZ, Chapingo
DR. VICTOR VOLKE HALLER, Montecillos

REVISTA TERRA

NORMAS PARA PUBLICACION

TIPO DE MANUSCRITO PARA PUBLICACION

La Revista **TERRA** acepta trabajos, en lengua española, sobre temas relacionados con la Ciencia del Suelo y el Agua. Estos pueden ser Artículos Científicos, Notas de Investigación, Ensayos o Revisiones de Literatura, Cartas al Editor, y Reseña de Libros. Se entiende por Artículo Científico aquel basado en un trabajo de investigación en que se ha aplicado en forma rigurosa el método científico y se ha estudiado el efecto que tienen diferentes tratamientos sobre la respuesta medible de un sistema, como metodología para comprobar o rechazar una hipótesis claramente establecida como objetivo del trabajo.

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

Los Ensayos o Revisiones de Literatura son artículos basados en una recopilación de artículos científicos o de investigación existen-

tes, en que el autor aporta su opinión personal sobre el tema y establece conclusiones respecto del estado actual del conocimiento del tema.

TERRA publicará las Cartas al Editor con opiniones o comentarios debidamente argumentados, que reciba. Esta sección tiene por objeto fomentar la discusión sobre temas publicados en sus páginas o de interés para la comunidad científica nacional. La Reseña de Libros es una sección destinada a dar a conocer la obra, particularmente de autores mexicanos e ibero-americanos, que son de interés para los científicos del suelo.

La Revista **TERRA** acepta colaboraciones de todos los miembros de la Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo, así como de individuos que deseen publicar sus trabajos en ella, pero no tengan esta calidad. Los trabajos que se envíen deberán ceñirse a estas Normas para Publicación y estarán sujetos a revisión por el Comité Editorial o por quien éste designe, antes de su publicación.

NOTA: Los manuscritos deberán enviarse con original y dos copias, escritos a doble espacio, a:
Editor de la Revista **TERRA**,
Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo A. C.
Apartado Postal 45,
56230 Chapingo, Edo. de México.
México.

Versión revisada 7-88.

CONTENIDO DEL MANUSCRITO

Los Artículos Científicos y las Notas Científicas que se presentan deberán contar de las siguientes partes: (a) Título; (b) Autor(es); (c) Institución(es) responsable(s) del trabajo y dirección de los autores; (d) Resumen; (e) Palabras claves; (f) Summary; (g) Index words; (h) Introducción, que aparte de la motivación, importancia de los objetivos, deberá incluir aquellos aspectos más importantes, relativos del tema central, de la revisión de literatura; (i) Materiales y Métodos, donde se indique claramente el o los método(s) experimental(es) empleado(s) para dar respuesta a las hipótesis del trabajo; (j) Resultados y Discusión; (k) Conclusiones; y (l) Literatura Citada. El Comité Editorial podrá aceptar algunas modificaciones de esta estructura, cuando el tenor del texto así lo aconseje.

Los Ensayos o Revisiones de Literatura deberán constar de las siguientes partes: (a) Título; (b) Autor(es); (c) Institución donde se desarrolló el trabajo; (d) Resumen; (e) Palabras claves; (f) Summary; (g) Index words; (h) Introducción; (i) Desarrollo del tema, con los subtítulos que se estimen convenientes; (j) Discusión, donde fuere procedente; (k) Conclusiones; y (l) Literatura Citada.

Las Cartas al Editor y las Reseñas de Libros no tienen un formato definido, pero no deberán ser de más de dos cuartillas a máquina, doble espacio.

FORMATO DEL MANUSCRITO

Los trabajos deben enviarse mecanografiados en papel tamaño carta a doble espacio dejando márgenes en los cuatro costados de 2.5 cm y con las líneas numeradas. Las páginas, incluyendo los Cuadros y las Figuras, se numerarán correlativamente. El texto no deberá exceder de 20 páginas, siendo 15 el largo ideal para un Artículo Científico y 8 para una Nota Científica. Cada Cuadro o Figura se incluirá en una hoja aparte con su correspondiente número con lápiz de grafito suave en el reverso. Las leyendas correspondientes se mecanografiarán en hojas apartes (una hoja para cada Cuadro o Figura). Los Cuadros y las Figuras contendrán sólo la información esencial y en ningún caso repetir los datos que se presenten en otra forma. Las unidades que se empleen serán los del Sistema Métrico Decimal.

ESPECIFICACIONES PARA EL FORMATO

Título. El título se escribirá con mayúsculas, al inicio y al centro de la página. Se colocará también traducido al inglés, inmediatamente abajo del título en español. El título en inglés se escribirá con minúsculas, excepto las primeras letras de cada palabra, dos espacios sencillos abajo del anterior. El título deberá ser breve e indicar en forma precisa la naturaleza y contenido del artículo. Un título largo no es necesariamente el mejor. Así por ejemplo "Fijación de Fósforo en un Andosol de Colima" es mejor que "Determinación

de la Cantidad de Fósforo Fijado en los Horizontes A y B de un Perfil Alterado en un Suelo Andosol del Estado de Colima".

Autores. Se incluirá el nombre del autor o autores en la forma en que se acostumbra a escribirlo en sus publicaciones. Se sugiere adoptar una forma para toda la vida, que sea breve. Ejemplo: Roberto Núñez E., J. H. Miranda P. o R. Ferrera-Cerrato. Esto ayuda a no crear confusión y a identificar fácilmente a los autores. No se usarán títulos ni grados. La primera letra del nombre y apellidos se escribirán con mayúsculas. Los nombres de los autores se separarán por comas y se centrarán en la página. Se escribirán cuatro espacios debajo del título en inglés y centrados respecto de los márgenes.

Institución(es) patrocinante(s) y dirección de los autores. El objetivo de esta parte del artículo es dar el crédito respectivo a la institución que patrocinó el trabajo y que los lectores puedan contactar a los autores en caso necesario; la dirección postal debe quedar claramente especificada. Ejemplo: Centro de Edafología, Colegio de Postgraduados, Chapingo, Méx. o Departamento de Suelos, UACH, Chapingo, México. Esta identificación se escribirá con minúsculas, excepto las siglas, dos espacios sencillos debajo de los autores.

Pie de páginas. Se podrán utilizar, cuando sea necesario, para identificar información adicional; se numerarán correlativamente a través de todo el texto. Deberán emplearse al mínimo y sólo cuando sea imprescindible.

De la forma de titular. Los títulos tienen diversos órdenes y ellos señalan automáticamente la posición de una parte del artículo dentro de este.

Título de primer orden. Es el título principal del artículo y siempre se escribe con mayúsculas, al inicio del artículo, centrado respecto de los márgenes.

Títulos de segundo orden. A este tipo corresponden las diferentes partes del artículo: Resumen, Summary, Introducción, etc. Se escriben con minúsculas, excepto las primeras letras de cada palabra. Se ubican tres espacios simples abajo del último renglón escrito. El texto que le sigue se comenzará a escribir dos espacios simples después del título.

Títulos de tercer orden. Se escriben al margen izquierdo, con minúsculas, excepto la primera letra de las palabras. Se subrayan. Se ubican dos espacios sencillos bajo el último escrito. El texto comienza a escribirse dos espacios sencillos después del título.

Títulos de cuarto orden. Se escriben al margen izquierdo con minúsculas, excepto la primera letra. Van subrayados y con punto final sin dejar sangría, como en el presente párrafo. Si hubiera necesidad de título de mayor orden, se seguirán las normas recién indicadas, pero éstos se colocarán con una sangría de cinco espacios contados a partir del margen izquierdo, para el de quinto orden, y mayor, para el de sexto orden.

Resumen. Esta sección debe sintetizar, en no más de 250-300 palabras, los aspectos más importantes del trabajo, esto es, su motivación, importancia, método experimental (cuando corresponda) y las conclusiones más importantes. Se titula con un título de segundo orden.

Palabras claves. Dos espacios sencillos abajo del texto anterior se colocan al margen izquierdo y con minúsculas: Palabras claves, seguido de dos puntos, y a continuación las palabras que el autor considere clave para su trabajo, las que deberán ser distintas a las empleadas en el título.

Summary. Se siguen las mismas normas que para el Resumen en español. Esta sección es básica para darle difusión internacional a la revista. Se titula también con segundo orden.

Index words. Se seguirán las instrucciones dadas para Palabras claves, pero estas últimas se colocarán en inglés.

Introducción. En esta sección se indica la motivación, la importancia y los objetivos del trabajo que llevan implícito las hipótesis del trabajo. Contienen, además, los aspectos más relevantes del tema, tratados por otros autores e identificados en la Revisión de Literatura. La Introducción no debe exceder de tres cuartillas a doble espacio. Se titula con segundo orden.

Materiales y Métodos. Esta sección debe describir las características relevantes de los materiales usados en el estudio y los métodos experimentales empleados. A la descripción del método experimental utilizado para lograr los objetivos planteados se le debe dar particular importancia. Debe mostrar concordancia plena con las hipótesis. Así por ejemplo, si el propósito de un trabajo es determinar el efecto de la adición de estiércol vacuno en la mineralización del nitrógeno del suelo, deberá describirse el experimento que permitió medir este efecto. Los revisores tendrán muy en cuenta la concordancia entre objetivos planteados y los métodos experimentales empleados. Se titula con segundo orden.

Resultados y Discusión. Bajo este título se incluyen los resultados obtenidos en la investigación. Estos se presentarán en forma de Cuadros, Figuras, Fotografías, etc., y no deberán duplicar la información que se da en el texto. La información presentada en Cuadros y Figuras tampoco deberá duplicarse, así como incluir resultados que puedan ser fácilmente calculables. Ejemplo: presentar en una columna el rendimiento en g/m² y en otra en kg/ha. En la Discusión se harán resaltar los principios más importantes y las relaciones causa-efecto derivados del análisis de los resultados. Además, deberá explicar, en función de las observaciones hechas, el por qué de lo observado. Los resultados obtenidos se compararán con los de otros investigadores, señalando las divergencias y las semejanzas. Los Resultados y la Discusión deben tener los mismos subtítulos, si es que los hay, de la sección de Materiales y Métodos. Se titula con segundo orden.

Conclusiones. Las primeras conclusiones que se presentan deben ser aquellas correspondientes a los objetivos planteados. Se pueden incluir, además, otras conclusiones relevantes y recomendaciones que emanen del trabajo. Se titula con segundo orden.

Citas en el texto. Las citas en el texto se harán de acuerdo con la forma en que participan éstas en la oración. Se seguirán las siguientes reglas: (a) se citará el apellido principal del autor(es) y el año, cuando se trate de uno o dos autores, y el apellido principal del primer autor seguido de et al. y el año, cuando se trate de tres o más autores; (b) las citas, cuando más de una, se colocarán en orden alfabético; (c) cuando el nombre del autor(es) participa en la oración se colocará el apellido principal seguido del año entre paréntesis; ejemplo: Martínez (1982) observó que ...; Carrasco (1983) y Merino (1984) encontraron gran diferencia ...; (d) cuando la cita se agrega al final de la oración los nombres de los autores y el año se colocarán entre paréntesis, separados por una coma; ejemplo: ... al final de la cosecha (Martínez, 1982) o (Carrasco, 1983; Merino, 1984) o (Bravo et al., 1979); (e) cuando el autor tiene más de una publicación en un año se adiciona a éste a, b, c,; ejemplo: (Moreno, 1984a) o (Moreno, 1984b) según sea el caso; (f) las comunicaciones personales se citarán sólo en el texto; ejemplo: (R. Núñez E., 1984. Comunicación personal); (g) las citas que no aparezcan en la Literatura Citada, por ser documentos de circulación restringida y no sean comunicaciones personales, se colocarán con pie de página, siguiendo la numeración correlativa correspondiente.

Literatura Citada. Para confeccionar la lista de citas de la Literatura Citada se seguirán las normas que se detallan a continuación con ejemplos.

(1) Caso de artículos en revistas seriadas; ejemplo:

NUÑEZ E., R., A. TRINIDAD S., J. J. MARTINEZ H. 1984. Efecto de estiércol de vacuno en la producción de maíz. *Agropecuaria Técnica* 54: 385-388.

Obsérvese que la inicial del nombre propio se ha trasladado al final de los apellidos sólo para el caso del primer autor, y que se ha mantenido la inicial del segundo apellido y del nombre propio en el lugar que corresponde en el resto de los casos. Es común que los nombres ingleses se escriban con dos nombres personales y un apellido; ejemplo: L. J. Brown, el cual se citará en caso de ser primer autor como Brown, L. J. y como L. J. Brown en todos los demás. Los portugueses y brasileños acostumbran colocar el apellido paterno en segundo lugar y éste es el que se debe citar; ejemplo: Antonio Amaro Filho, es Filho, A. A. o A. A. Filho según sea el primer autor o acompañante. Para el caso de los nombres árabes, orientales e hindúes se deberá consultar una guía para citas bibliográficas, como la del Council of Biological Editors o las normas del IICA para citas bibliográficas.

(2) Caso de artículos en una publicación colectiva no periódica con o sin editor; ejemplo:

(i) con editor

TURRENT F., A. 1984. Los agrosistemas del trópico, pp. 315-328. In: E. Hernández X. (ed). Los sistemas agrícolas de México. Colegio de Postgraduados, Chapingo, Méx.

(ii) sin editor

CORTES F., J. I. 1984. El manejo de los frutales en zonas frías, pp. 181-192. In: La fruta y su perspectiva en México. CONAFRUT, SARH, México, D. F.

(3) Caso de los boletines técnicos u otras publicaciones seriadas no periódicas; ejemplo:

CLEMENT, H. F. 1952. Factors affecting the growth of sugarcane. Univ. Hawaii Agr. Exp. Sta. Tech. Bull. 18.

(4) Caso de los libros; ejemplo:

JACKSON, M. L. 1964. Análisis químico de los suelos. Traducción al español de J. Huerta. Editorial Omega, Barcelona, España.

ZAMUDIO H., B. 1970. Las especies latifoliadas del Cono Sur. 2a. Edición. Editorial Inca, Lima, Perú.

(5) Otras publicaciones; ejemplo:

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

La lista de citas se confeccionará en orden alfabético. Sólo se incluirá en ella los trabajos citados en el texto.

OTROS ASPECTOS DEL MANUSCRITO

A continuación se dan algunas indicaciones acerca de los cuidados y consideraciones que hay que tener para la elaboración de las figuras, cuadros, mapas, etc. Los cuadros y las figuras se emplean para reemplazar al texto, cuando el contenido de éstos no puede expresarse claramente con palabras o su uso contribuya a un ahorro importante de espacio. Los cuadros y las figuras deben ser claros, simples y concisos. Para ello es necesario seleccionar los datos de modo que se presenten sólo aquellos que se emplearán para hacer énfasis en algún aspecto o que expliquen otros. Los datos deben ordenarse en una forma tal que sean fácil de interpretar.

En el pie de cuadro se incluirán las llamadas que sean pertinentes. Los asteriscos se reservarán para indicar significación al 5% (*) y al 1% (**), respectivamente. Se recomienda el uso de numerales correlativos para las llamadas.

Los cuadros deben tener tres líneas horizontales sólidas: al inicio del cuadro, al inicio del campo del cuadro, y al final de éste. No se permitirá el uso de líneas verticales.

El encabezamiento del cuadro dará entrada a las columnas y a las líneas. Las unidades correspondientes a las columnas irán en el campo del cuadro, no en el encabezamiento. El campo y el encabezamiento de las columnas se pueden dividir a conveniencia del autor.

Los encabezamientos de columnas y líneas se describirán con minúsculas, excepto la primera letra de la primera palabra.

Se empleará sólo el número de cifras significativas necesarias para destacar el punto que se desea. No tiene sentido hablar de 4,314.3 kg de maíz, probablemente 4.3 ó 4.31 ton/ha es suficiente.

Los cuadros no podrán ser mayores de una página tamaño carta, considerando los márgenes antes dichos.

Los mapas y las figuras deben dibujarse en tinta china sobre papel albanene o papel dibujo de buena calidad. No deben exceder las dimensiones de una página tamaño carta. La leyenda debe ser con letras y números de tamaño lo suficiente grande, como para que puedan leerse al ser reducidos, al igual que el grosor de los ejes y líneas interiores. Para un gráfico del tamaño de una página carta se requieren letras y números de 0.8 a 1.0 cm de altura. Recuerde que en una figura lo que interesa destacar es el contenido y no los ejes. Consecuentemente, el grosor de estos últimos tiene que ser menor que el de las líneas interiores. Los puntos experimentales deben marcarse visiblemente. Para dimensionar los ejes se deben escoger módulos constantes para cada uno.

Los mosaicos fotográficos deben entregarse montados en hojas de papel, totalmente terminados, con leyenda y numeración. El aumento de las microfotografías debe indicarse en la leyenda.

Agradecimientos. Podrán incluirse cuando sea necesario al final del texto, esto es, después de las Conclusiones y antes de la Literatura Citada.

ERRATA

En el Volumen 9, Número 1, 1991, se omitió en el trabajo: LAS DOS VIAS DE ASIMILACION DEL NITROGENO EN SOYA Y OTRAS LEGUMINOSAS de los autores: Gabriel Alcántar González y Juan Luis Tirado Torres, las siguientes Figuras:

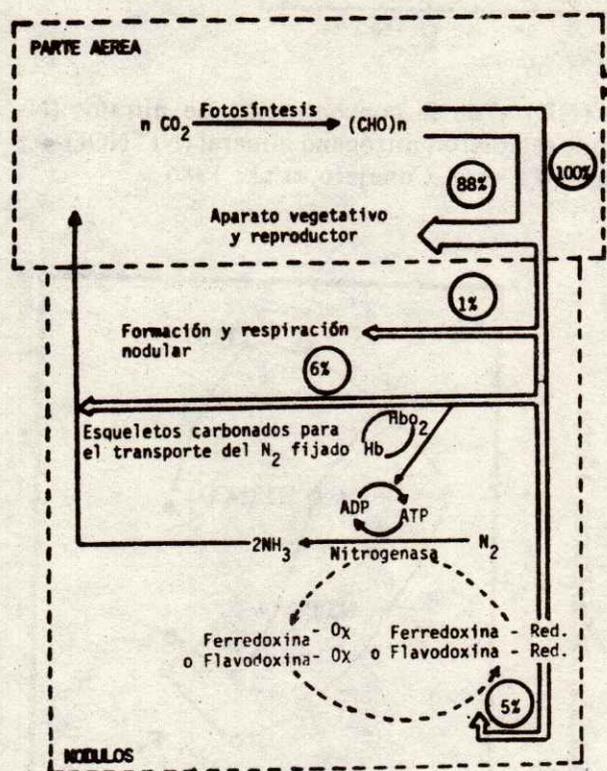


Figura 1. Necesidades de carbón reducido en los nódulos en relación a la cantidad de CO_2 fijado por la fotosíntesis (Hardy y Havelka, 1975; Atkins et al., 1978).

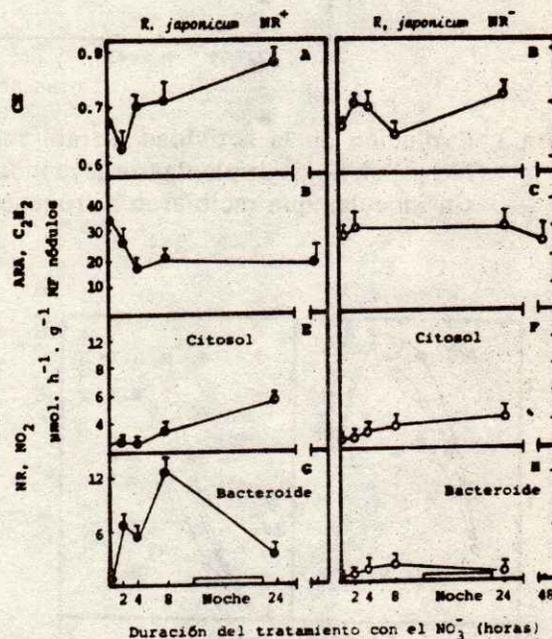


Figura 2. Efecto de la adición de nitrato (5 meq.l⁻¹) sobre la carga energética (CE), actividad nitrogenasa (ARA) y las actividades nitrato reductasa (NR) en los nódulos de soja. Plantas de 40 días al inicio de la experiencia inoculadas con *Rhizobium japonicum* NR⁺ o NR⁻.

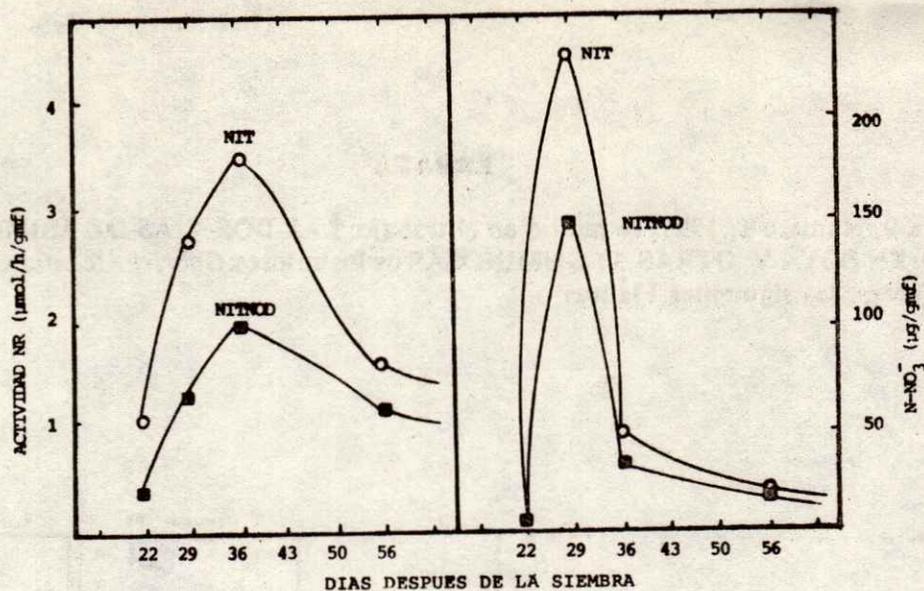


Figura 3. Evolución de la actividad nitrato reductasa (NR) y de la concentración de nitratos ($N-NO_3^-$) en hojas de plantas de soya inoculadas que recibieron nitrógeno mineral (NITNOD-■); sin inocular que recibieron nitrógeno mineral (NIT -○-). Conejero et al., 1986

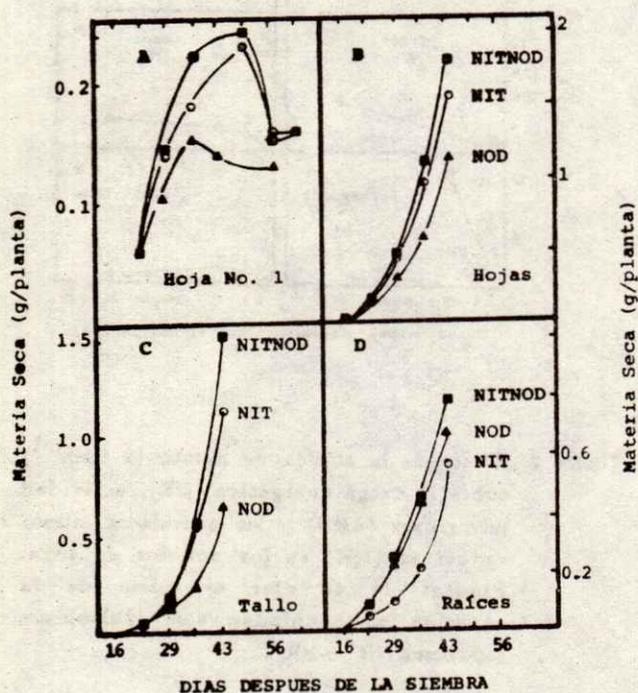


Figura 4. Evolución de la materia seca de la hoja No. 1 (A), del conjunto de las hojas (B), tallos y pecíolos (C) y de las raíces (D) de las plantas de soya inoculadas que recibieron nitrógeno mineral (NITNOD ■); inoculadas sin nitrógeno mineral (NOD ▲); y sin inocular que recibieron nitrógeno mineral (NIT ○). Tirado, 1987.

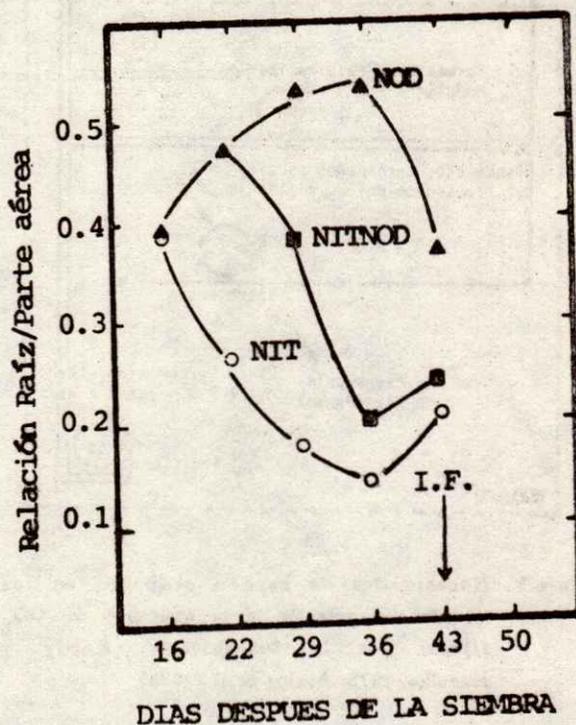


Figura 5. Efecto de la nodulación sobre la relación de peso seco de raíces sobre la parte aérea (hojas + tallos) de plantas de soya inoculadas que no recibieron nitrógeno mineral (NOD -■-); y sin inocular que recibieron nitrógeno mineral (NIT -▲-). IF = inicio de la floración. Conejero, 1986.

DIVISION II

Impacto de la sequía en la simbiosis
Phaseolus vulgaris-*Rhizobium leguminosarum* biovar
phaseoli.

DAVID ESPINOSA-VICTORIA,
RONALD FERRERA-CERRATO y
ALFONSO LARQUE-SAAVEDRA

173

Modelos de avance superficial del agua en
surcos.

G. BRIONES S., S.M. CHAPA G.,
S.Z. GARZA V. y E. LUNA D.

186

DIVISION III

Respuesta del maíz al fósforo en la Ciénega de
Chapala.

J. VENEGAS G, M. VELAZQUEZ M. y
J.L. PIMENTEL E.

197

Situación del fósforo en los suelos de
Tlaxcala.

LOURDES CRUZ H.,
JORGE D. ETCHEVERS B. y
JOSE RODRIGUEZ S.

204

Evaluación de la fertilidad de los suelos de
pradera de la región de Teziutlán, Pue.

JOSE LUIS ZARATE V. y
JORGE D. ETCHEVERS B.

210

Factores que afectan la siembra en seco del
maíz bajo temporal.

SERGIO URIBE G., NESTOR FRANCISCO N.,
JOSE L. ZUÑIGA G., RENE CAMACHO C. y
ANTONIO TURRENT F.

221

Comportamiento de malezas en diferentes niveles
de humedad del suelo.

MARIO D. AMADOR RAMIREZ.

230

NOTA DE
INVESTIGACION

Relación entre los procedimientos Olsen y Bray-1
de extracción de P, evaluados en suelos ácidos
de Tlaxcala.

LOURDES CRUZ H. y JORGE D. ETCHEVERS B.

237