



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

ISSN 0187-5779

TERRA

Volumen 4 Julio - Diciembre de 1986 Número 2

DIVISION II

I N D I C E

Variaciones estacionales de las concentraciones de N, P, K, Ca y Mg en árboles de aguacate cv Fuerte tratados contra *Phytophthora cinnamomi* rands.

N. GUTIERREZ R., J. I. CORTES F.,
J. D. ETCHEVERS B. y R. GARCIA E. 113

Comparación de métodos indirectos para estimar la evapotranspiración de la soya en temporal.

L. ZUÑIGA E. 119

Tomate (*Lycopersicon esculentum*) y algunas propiedades físicas del suelo bajo condiciones de acolchado.

P. RIVERA O., A. OBREGON V.
y J. HERNANDEZ D. 125

Efecto de niveles de riego por goteo en dos etapas fenológicas en la producción de la vid en Zacatecas.

J. VERASTEGUI CH.
y A. G. BRAVO L. 132

DIVISION III

Evaluación de las reservas de sales en suelos salinos en extracto de saturación y en relación suelo-agua 1:5.

C. RAMIREZ A., M. ORTEGA E.
y E. VAZQUEZ A. 137

Descripción de las regularidades del proceso de lavado de los suelos salinos.

L. F. DIAZ E., M. ORTEGA E.,
C. RAMIREZ A. y J. L. RONE P. 144

ENSAYOS

Análisis de una serie desbalanceada de experimentos de fertilizantes en caña de azúcar.

P. ROJAS H. y A. MARTINEZ G. 153

La erosión y conservación del
suelo en México; realidades y
perspectivas.

V. VAZQUEZ A. 153

Recuperación extensiva de suelos
altamente salino-sódicos del ex lago
de Texcoco. 1. Avances a 1986.

F. A. LLERENA V., A. BECERI
y A. VELAZQUEZ L. 173

El reto alimentario del siglo
XXI.

R. FERNANDEZ G. 180

Clorosis férrica: definición,
causas, importancia y alternativas en
México.

F. RODRIGUEZ N. 187

TERRA

MESA DIRECTIVA 1986-1988

DR. OCTAVIO PEREZ ZAMORA
Presidente
M.C. JAVIER Z. CASTELLANOS RAMOS
Vicepresidente
DR. ANDRES AGUILAR SANTELISES
Secretario General
M.C. JOSEFINA PAREDES GONZALEZ
Tesorero
DR. JORGE BAUS PICARD
Secretario Técnico
M.C. VALENTIN VAZQUEZ AGUILAR
Secretario de Relaciones Públicas
DR. JOSE I. CORTES FLORES
Secretario de Eventos Nacionales e Internacionales
M.C. CARLOS ORTIZ SOLORIO
Vocal
M.C. ENRIQUE SALAZAR SOSA
Vocal

COMISION EDITORA

DR. JORGE D. ETCHEVERS B. Editor
DR. ANDRES AGUILAR SANTELISES
SRA. CARELINA C. AALMERS DE AGUILAR

"TERRA", Registro en Trámite. Organó oficial de divulgación de la Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo, A. C. Volumen 4, número 2. Julio-diciembre 1986.

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 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.

EDITORIAL

Artículos Científicos

DIVISION II

- VARIACIONES ESTACIONALES DE LAS CONCENTRACIONES DE N, P, K, Ca Y Mg EN ARBOLES DE AGUACATE CV FUERTE TRATADOS CONTRA *Phytophthora cinnamomi* RANDS. N. Gutiérrez R., J. I. Cortés F., J. D. Etchevers B. y R. García E. 113
- COMPARACION DE METODOS INDIRECTOS PARA ESTIMAR LA EVAPOTRANSPIRACION DE LA SOYA EN TEMPORAL. L. Zúñiga E. 119
- TOMATE (*Lycopersicon esculentum*) Y ALGUNAS PROPIEDADES FISICAS DEL SUELO BAJO CONDICIONES DE ACOLCHADO. P. Rivera O., A. Obregón V. y J. Hernández D. 125
- EFFECTO DE NIVELES DE RIEGO POR GOTEO EN DOS ETAPAS FENOLOGICAS EN LA PRODUCCION DE LA VID EN ZACATECAS. J. Verástegui Ch. y A. G. Bravo L. 132

DIVISION III

- EVALUACION DE LAS RESERVAS DE SALES EN SUELOS SALINOS EN EXTRACTO DE SATURACION Y EN RELACION SUELO-AGUA 1:5. C. Ramírez A., M. Ortega E. y E. Vázquez A. 137
- DESCRIPCIÓN DE LAS REGULARIDADES DEL PROCESO DE LAVADO DE LOS SUELOS SALINOS. L. F. Díaz E., M. Ortega E., C. Ramírez A. y J. L. Rone P. . . . 144
- ANALISIS DE UNA SERIE DESBALANCEADA DE EXPERIMENTOS DE FERTILIZANTES EN CAÑA DE AZUCAR. P. Rojas H. y A. Martínez G. 153

Ensayos

- LA EROSION Y CONSERVACION DEL SUELO EN MEXICO REALIDADES Y PERSPECTIVAS. V. Vázquez A. . . . 158
- RECUPERACION EXTENSIVA DE SUELOS ALTAMENTE SALINO-SODICOS DEL EX-LAGO DE TEXCOCO.
1. AVANCES A 1986. F. A. Llerena V., A. Becerra M. y A. Velázquez L. 173
- EL RETO ALIMENTARIO DEL SIGLO XXI. R. Fernández G. 180
- CLOROSIS FERRICA: DEFINICION, CAUSAS, IMPORTANCIA Y ALTERNATIVAS EN MEXICO. F. Rodríguez N. . . 187

- INDICE DE AUTORES 201
- NORMAS PARA PUBLICACION 203

EDITORIAL

Crear, hacer crecer y sostener una institución científica en un medio poco convencido de la tremenda importancia de la ciencia como instrumento de desarrollo y factor clave de independencia, es difícil e ingrato. Crear, hacer crecer y sostener un medio de difusión de esas instituciones lo es aún más. La Revista TERRA nació en 1983 gracias al entusiasmo del presidente de la SMCS de ese entonces, el Dr. Antonio Turrent Fernández. Desgraciadamente el impulso inicial no alcanzó a establecer con solidez una estructura editorial, administrativa y económica, que permitiese la aparición regular de la revista en los años siguientes. El esfuerzo de un grupo reducido de personas ha impedido que el impulso inicial desapareca. Ello ha permitido que con el correr de los años fuésemos tomando conciencia de lo grande y complejo que es una empresa de esta naturaleza. Lentamente nos hemos convencido que los inicios de una revista son similares a los primeros pasos de un ser humano, lentos, titubeantes, pero prometedores de un futuro adulto. La actual directiva de la SMCS se ha preocupado de establecer un reglamento editorial, perfeccionado las Normas para Publicación de la revista y otorgado a un grupo reducido, que necesariamente deberá ampliarse en el futuro, la confianza para que vaya colocando los cimientos de lo que deberá ser la revista en los años venideros.

A este respecto vale la pena destacar la valiosa colaboración de la Sra. Ina Aalmers de Aguilar quien fue nombrada Editora Administrativa y ha sido la responsable de ordenar los archivos, recibir y responder la correspondencia, mantener el debido contacto con los autores y correctores, mecanografiar, corregir, redactar y formar los artículos de los últimos números. Es preciso reconocer la invaluable preocupación y ayuda del Dr. Andrés Aguilar Santelises, quien como Secretario General de

la SMCS ha tomado las tareas de la revista con mucho amor propio y ejemplar responsabilidad. Debemos expresar nuestros agradecimientos al cuerpo de revisores técnicos, quienes anónimamente realizan su labor, sin la cual el trabajo editorial sería imposible. Particular mención merecen nuestros colaboradores de provincia quienes, en general, responden con mayor prontitud que aquellos ubicados en nuestra área de influencia, confirmando el enorme potencial intelectual que ocurre en las zonas alejadas de la gran urbe y que no había sido capitalizado en el pasado.

Las bases para constituir un sólido cuerpo de editores técnicos están echadas y podemos mostrarnos orgullosos de la labor que han venido realizando. Todos los artículos científicos publicados en los números correspondientes a los volúmenes 3 y 4 han sido sometidos a una revisión editorial por expertos en el tema. En el último número de volumen 4 hemos incluido por primera vez, ensayos, modalidad establecida en las normas que corresponden a trabajos presentados por socios de la SMCS en simposios especiales y que los han enviado a consideración de este editor en el año 1987. Estos trabajos son de exclusiva responsabilidad de los autores. Su aparición en un número de 1986 pudiese crear cierta confusión en nuestros lectores. La decisión se tomó para favorecer el flujo de las publicaciones y evitar que perdiesen vigencia. En próximos números continuaremos con la política de publicar ensayos de interés edafológico.

Les recordamos que la sobrevivencia de este órgano, único en el país, depende del esfuerzo y la colaboración de ustedes, de quienes esperamos más trabajos para publicación y una pronta respuesta a nuestra demanda de colaboración en revisión de artículos o corrección de éstos.

El Editor.

VARIACIONES ESTACIONALES DE LAS CONCENTRACIONES DE N, P, K, Ca y Mg EN ARBOLES
DE AGUACATE CV FUERTE TRATADOS CONTRA *Phytophthora cinnamomi* RANDS ¹

Gutiérrez Rangel, N. ²
Cortés Flores, J.I. ³
Etchevers Barra, J.D. ³
García Espinosa, R. ⁴

RESUMEN

Se estudió el efecto de las aplicaciones al suelo de estiércol, alfalfa y metalaxil para controlar *Phytophthora cinnamomi*, sobre el estado nutricional del árbol de aguacate "Fuerte" a través de la estación y flujos de crecimiento en la región de Atlixco, Puebla.

Los resultados mostraron que las aplicaciones de los tres materiales modificaron la concentración de N, P, K, Ca y Mg en la hoja, pero no la tendencia estacional. La concentración de N, P y K disminuyó con la edad de la hoja mientras que la de Ca y Mg se incrementó. El flujo de crecimiento también afectó la concentración de estos nutrimentos. Las hojas del flujo de primavera presentaron en general concentraciones superiores con excepción de la concentración de Mg que fue mayor en las hojas jóvenes del flujo de otoño.

El estiércol y la alfalfa fueron los principales factores que modificaron el estado nutricional de los árboles.

ABSTRACT

Leaves of avocado trees (*Persea americana* Mill) "Fuerte" under treatment with different levels and combinations of cow manure, alfalfa and metalaxyl for *Phytophthora* root rot control, were sampled to monitor the nutritional status of trees during the growing season. Cow manure, alfalfa and metalaxyl modified leaf N, P, K, Ca and Mg concentrations but not the seasonal trend. Concentrations of N, P and K decreased with leaf age meanwhile Ca and Mg increased. Flush growth affected nutrient concentrations. Leaves of spring flush presented higher concentrations with exception of Mg in young leaves of fall flush. Cow manure and alfalfa were the main factors affecting the nutritional status of avocado trees.

INTRODUCCION

A pesar de que México es el principal productor de aguacate a nivel mundial, en este país se han llevado a cabo relativamente pocos estudios sobre este frutal, aun cuando se tienen diversos problemas que requieren de solución.

La "tristeza del aguacatero" causada por el hongo *Phytophthora cinnamomi* Rands es la enfermedad más peligrosa de este frutal a nivel mundial. En nuestro país, una de las regiones más afectadas por el hongo es la de Atlixco, Puebla, donde ya ha provocado la muerte de miles de árboles.

Debido a la importancia del problema, se integró un grupo interdisciplinario para realizar trabajos en esa región tendientes a controlar la enfermedad y explicar los mecanismos involucrados en dicha operación. Como parte de ese grupo, con el presente trabajo se pretendieron alcanzar los siguientes objetivos: (a) determinar el efecto de la aplicación al suelo, de estiércol, alfalfa, metalaxil y sus combinaciones sobre la variación de la concentración de los nutrimentos durante la estación de crecimiento y estado nutricional de árboles de aguacate cv Fuerte, y (b) evaluar el efecto de los flujos de crecimiento sobre el estado nutricional de los árboles.

REVISION DE LITERATURA

Los factores que modifican el estado nutricional de las plantas pueden ser varios. Cualquier causa que inhabilita el sistema radical altera las concentraciones de N, K y Mg en las hojas (Bould, 1966).

Valenzuela (1984) observó después de aplicar al suelo estiércol vacuno, paja de alfalfa, metalaxil y sus combinaciones en un huerto de aguacate cv Fuerte dañado por *P. cinnamomi*, que las concentraciones máximas de N y K se asociaban con el tratamiento estiércol + alfalfa y las de P con el tratamiento de alfalfa.

La fertilización al suelo incrementa las concentraciones de nutrientes en las hojas, independientemente del estado fenológico de la planta (Tirado, 1977); aunque solamente se han encontrado correlaciones significativas entre el P, K y Ca del suelo y las hojas (Bould, 1966).

No siempre la adición de nutrimentos al suelo se refleja en la composición de las hojas, pues a veces aumenta el número de ellas y se mantiene su composición química (Haas, 1952). La adición de materia orgánica afecta la nutrición al mejorar algunas características físicas y químicas del suelo y favorece el desarrollo de organismos benéficos (Zentmyer y Thompson, 1968).

¹ Ponencia presentada en el XIX Congreso Nacional de la SMCS.

² Centro de Fruticultura, Colegio de Postgraduados, Chapingo, Méx.

³ Centro de Edafología, Colegio de Postgraduados, Chapingo, Méx.

⁴ Centro de Fitopatología, Colegio de Postgraduados, Chapingo, Méx.

La edad de las hojas es otro factor importante que modifica su constitución química. Generalmente se acepta que las concentraciones de N, P y K disminuyen con la edad de las hojas en tanto que las de Ca y Mg se incrementan (Bingham, 1961; Smith, 1962). Kook y Young (1977) encontraron resultados similares en hojas de aguacate cv Tonage.

La concentración o presencia de un ion determinado también puede afectar la disponibilidad de otro y/o la composición de la planta (Emmert, 1959).

En frutales caducifolios un incremento en la producción ocurre paralelamente con aumentos en los niveles de N, Ca y Mg y reducción en la concentración de K. El comportamiento del P es variable (Bould, 1966). En aguacate de los cvs Fuerte y Nabal, los rendimientos elevados reducen las concentraciones de P y K (Embleton y Jones, 1966).

MATERIALES Y METODOS

Este trabajo se llevó a cabo en el huerto denominado "Las Bugambillas", situado aproximadamente a 2 km al noroeste de la ciudad de Atlixco, Puebla. Geográficamente se ubica entre los 16°55'04" latitud norte y 98°26'05" longitud oeste; su altitud es de 1 900 msnm. El clima del área de estudio es semi-cálido, subhúmedo, con temperatura media entre 18 y 22°C, precipitación anual superior a 900 mm, régimen de lluvias en verano, y oscilación térmica entre 5 y 7°C. El suelo se clasifica como Fluvisol de textura gruesa (migajón arenoso) y se compone de toba basáltica.

En este huerto se ha venido estudiando a partir de 1982 el efecto del estiércol vacuno (E), paja de alfalfa (A) y metalaxil (M) contra el hongo *P. cinnamomi*, en árboles de aguacate cv Fuerte de aproximadamente 12 años de edad injertados en patrones de semilla de la raza mexicana, en un arreglo factorial (ocho tratamientos). Los niveles de cada factor son: estiércol, 0 y 20 cm⁵; alfalfa, 0 y 25 kg/árbol; metalaxil, 0 y 25 g de i.a./m². A partir de 1982 hasta 1985, el número de aplicaciones de estiércol, alfalfa y metalaxil han sido 3, 4 y 5, respectivamente. Además de estos tratamientos se consideró otro sujeto únicamente al manejo tradicional del huerto, el cual se identificó como doble testigo.

En este estudio se utilizó el diseño de bloques al azar con cuatro repeticiones. La unidad experimental fue un árbol. Las variables dependientes fueron: las concentraciones de N, P, K, Ca y Mg en hojas completas, de brotes sin fructificar, determinadas en los flujos de otoño de 1984 y primavera de 1985. Para mejorar la interpretación de los resultados también se realizaron algunas determinaciones en el suelo y se midió el rendimiento de los árboles.

Los muestreos de hojas en ambos flujos se iniciaron y terminaron cuando éstas tenían 15 y 165 días de edad, respectivamente.

La cuantificación de N se realizó por el método semi-micro Kjeldahl adaptado a material vegetal, el P por el procedimiento del amarillo de molibdo vanadato, el K por flammometría, y el Ca y Mg por absorción atómica.

Las curvas de variación estacional de los nutrientes para cada tratamiento se obtuvieron al graficar su concentración promedio en cada fecha de muestreo. El efecto de los tratamientos en la condición nutricional de los árboles se determinó mediante un análisis de varianza de las concentraciones medias de los nutrientes en cada flujo de crecimiento, mientras que la influencia de los flujos sobre el estado nutricional se evaluó comparando los niveles de los nutrientes en hojas de 15 y 165 días de edad de ambos flujos. El doble testigo siempre se usó únicamente como tratamiento de referencia.

RESULTADOS Y DISCUSION

Variaciones Estacionales

Las concentraciones más altas de N (Figura 1) correspondieron a las hojas del primer muestreo en ambos flujos de crecimiento, cuando éstas tenían aproximadamente 15 días de edad. A partir de entonces, la concentración fue disminuyendo conforme se incrementaba la edad de las hojas. Este comportamiento no fue muy claro para el caso del N pero sí para el P y K (datos no presentados). En las hojas del flujo de primavera los niveles de N y P se abatieron bruscamente en el muestreo del 29 de abril, lo que no ocurrió en las concentraciones de K.

Los niveles de Ca (Figura 2) fueron muy similares a los de Mg. A diferencia de los nutrientes anteriores, ambos se incrementaron con la edad de las hojas en los dos flujos de crecimiento, observándose por lo tanto las concentraciones más elevadas en los últimos muestreos.

Las tendencias generales observadas en las concentraciones de estos nutrientes coinciden con lo señalado por Bingham (1961) y Smith (1962). Las fertilizaciones al suelo y las aspersiones al follaje no modificaron el patrón de variación estacional de los nutrientes, lo cual contradice lo señalado por Tirado (1977), aunque pudiera ser que el incremento ligero que se observó en los niveles de N a partir de mayo de 1985, se deba a la fertilización al suelo realizada en ese mes.

Efecto de los tratamientos en el estado nutricional

De acuerdo con las curvas de variación estacional los tratamientos con estiércol se asociaron con concentraciones elevadas de los cinco nutrientes en el árbol; la alfalfa provocó una tendencia a incrementar los niveles de Ca y Mg y a disminuir los de P y K; mientras que con el metalaxil se observó cierta tendencia al aumento de las concentraciones de P.

Estadísticamente ($\alpha = 0.05$) el estiércol incrementó las concentraciones de N en las hojas de los flujos de otoño y primavera de 1.63 a 1.75 y de 2.11 a 2.35%, respectivamente (Figura 3a). La acción positiva del estiércol en los niveles de N se observa también muy claramente al graficar el efecto de la interacción E x A x M sobre este nutriente (Figura 3b).

El estiércol y metalaxil incrementaron significativamente el nivel de P, elevándolo de 0.20 a 0.22% (Figura 3c y 3d).

La aplicación de estiércol también incrementó significativamente la concentración de K en las hojas del flujo de primavera (Figura 3e). La interacción A x M indica un efecto negativo en los niveles de K cuando se aplica uno u otro, pero tal efecto se contrarresta con la incorporación de ambos (Figura 3f).

⁵) Espesor de la capa de estiércol aplicada en un radio de 1.5 m alrededor del tronco del árbol.

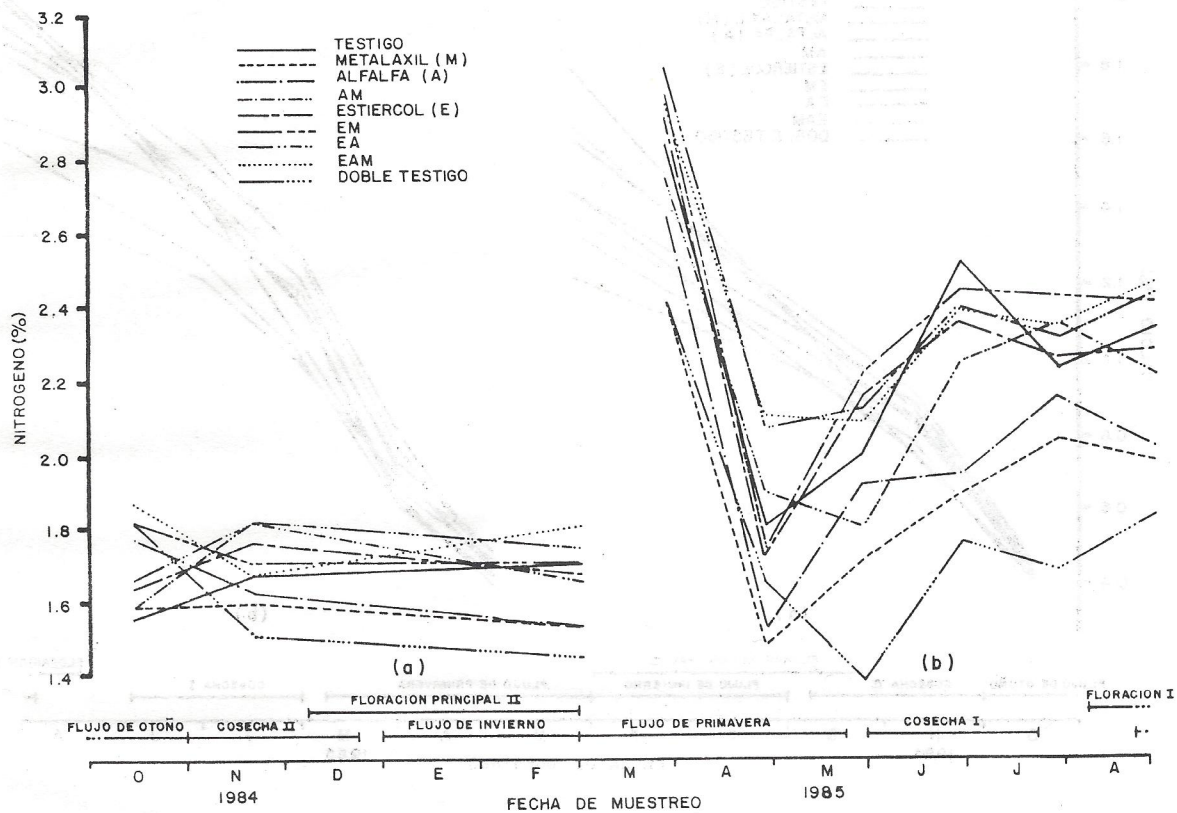


Figura 1. Efecto de los tratamientos contra *Phytophthora cinnamomi* sobre las variaciones estacionales de la concentración de nitrógeno en hojas de aguacate cv. Fuerte: (a) flujo de otoño de 1984, y (b) flujo de primavera de 1985.

Con la aplicación de alfalfa, las concentraciones de Ca y Mg, se incrementaron de 1.17 a 1.25% y de 0.60 a 0.64%, respectivamente (Figura 3g y 3h).

El efecto positivo del estiércol en las concentraciones de N, P y K está muy relacionado con la concentración de estos elementos en el suelo la cual se incrementó significativamente al adicionar dicho material orgánico. Este resultado confirma lo señalado por Bould (1966) de la relación existente entre el P y K del suelo con el del follaje.

El incremento de las concentraciones de Ca y Mg por la aplicación de alfalfa parece comprobar también lo indicado por Bould (1966) y Embleton y Jones (1966), que a mayor rendimiento se elevan las concentraciones de estos

nutrimentos, y se reducen las de P y K, lo que también explica los niveles elevados de estos últimos en los tratamientos testigo. El efecto positivo del metalaxil en la concentración de P puede deberse a un incremento en el área de absorción de las raíces al controlar al patógeno, pero también es factible que se deba al efecto de la cosecha, puesto que este tratamiento siempre estuvo relacionado con rendimientos bajos.

La interacción A x M en los niveles de K en las hojas de los dos flujos, nuevamente se relaciona con lo ocurrido en el suelo, donde dicha interacción también fue significativa y mostró las mismas tendencias.

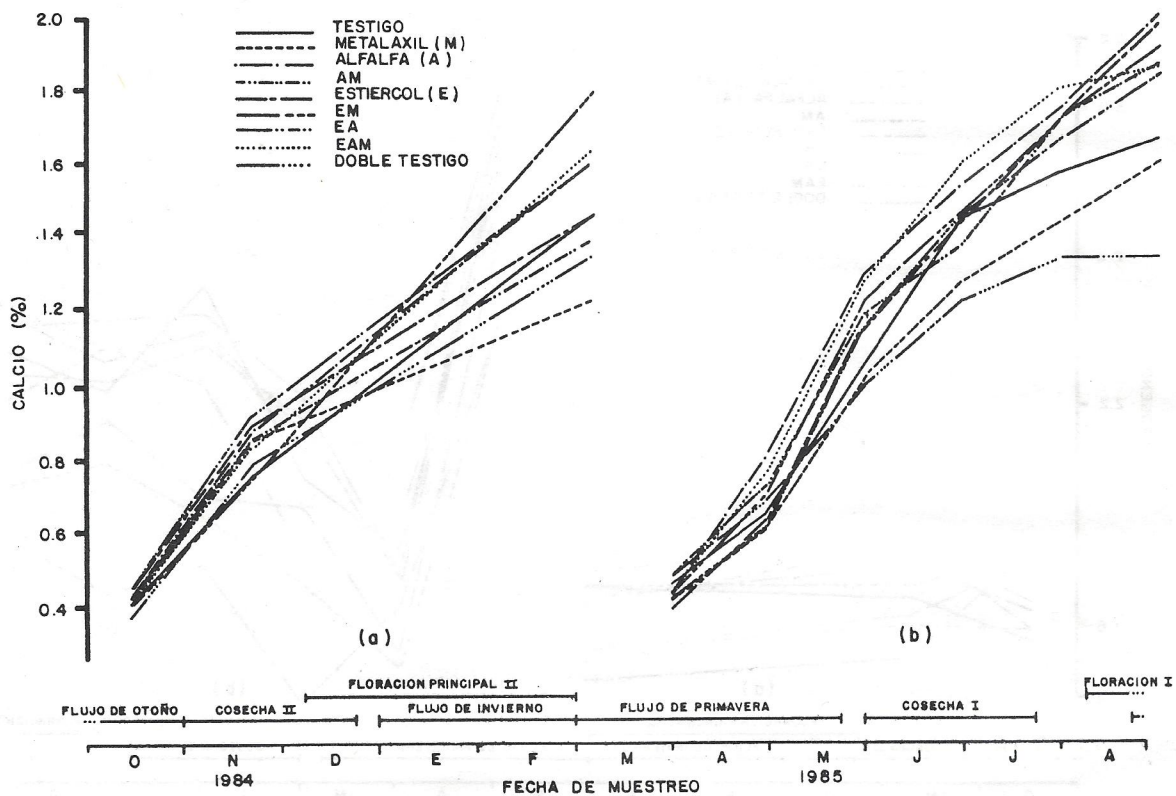


Figura 2. Efecto de los tratamientos contra *Phytophthora cinnamomi* sobre las variaciones estacionales de la concentración de calcio en hojas de aguacate cv. Fuerte: (a) flujo de otoño de 1984, y (b) flujo de primavera de 1985.

Efecto de los flujos de crecimiento

Al comparar las concentraciones de nutrimentos en hojas de 15 (Cuadro 1) y 165 días de edad (Cuadro 2) se observó que los porcentajes de N del flujo de primavera fueron estadísticamente superiores a los del flujo de otoño en los dos tipos de hojas, siendo las diferencias más grandes en las hojas más jóvenes (1.68 y 2.81% en las hojas de flujo de otoño y primavera, respectivamente). En la concentración de P únicamente hubo diferencias estadísticas en las hojas de 15 días y a favor del flujo de primavera, de igual manera los niveles de K en las hojas jóvenes del flujo de primavera (1.57%) fueron más elevados que los de las hojas del flujo de otoño (1.26%).

Los niveles de Ca de hojas maduras (5 1/2 meses) del flujo de primavera (1.85%), fueron estadísticamente superiores a las concentraciones de las hojas del flujo de otoño (1.52%). Solamente los porcentajes de Mg en hojas de 15 días de edad, del flujo de otoño (0.34%), fueron estadísticamente superiores a los de las hojas del flujo de primavera (0.29%).

Cuadro 1. Comparaciones de medias de concentración de cinco nutrimentos en hojas jóvenes (15 días)¹ de aguacate cv Fuerte, de distinto flujo de crecimiento.

Flujo de crecimiento	Concentración (%)				
	N	P	K	Ca	Mg
Otoño	1.69 ^a	0.26 ^a	1.26 ^a	0.41 ^a	0.34 ^a
Primavera	2.81 ^b	0.45 ^b	1.57 ^b	0.43 ^a	0.29 ^b
DSH ($\alpha = 0.05$)	0.17	0.01	0.07	0.08	0.04

¹ Edad aproximada.

Valores con letra igual en una misma columna, son estadísticamente similares de acuerdo con la prueba de Tukey.

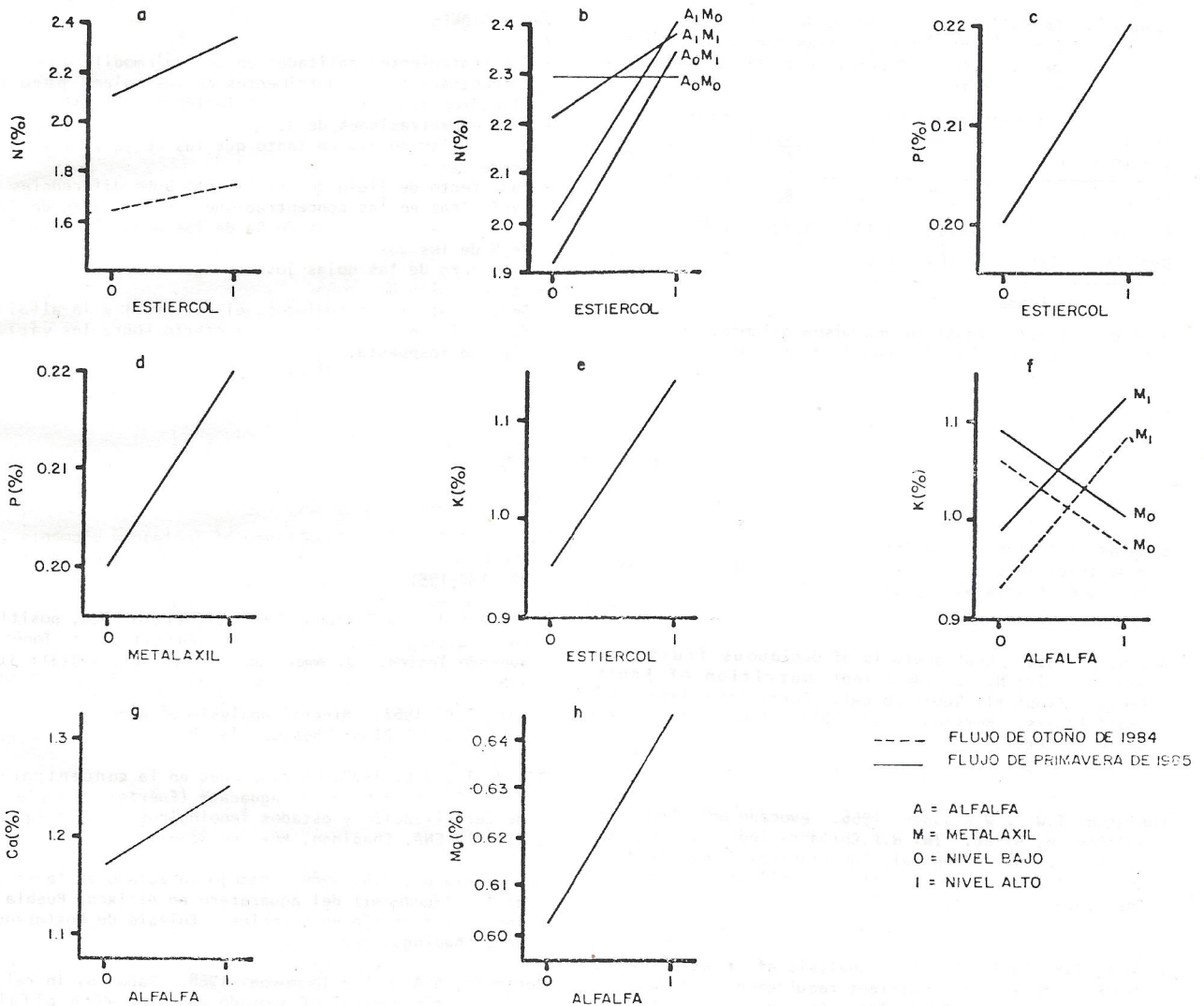


Figura 3. Representación gráfica de los efectos significativos (≤ 0.05) en las concentraciones de nitrógeno (a y b), fósforo (c y d), potasio (e y f), calcio (g), y magnesio (h) en hojas de aguacate cv. Fuerte.

Las diferencias observadas en las concentraciones de nutrientes en las hojas de distintos flujos, contradicen lo indicado por Kook y Young (1977) e indican la necesidad de considerar todas las condiciones bajo las que se hayan hecho las calibraciones de los nutrientes, para poder utilizar sus valores como referencias. Por otro lado, la tendencia general de que las concentraciones de

nutrientes en las hojas de flujo de primavera hayan sido más altas que las del flujo de otoño se puede deber principalmente a que la brotación de otoño compete con la floración principal, lo que ocasiona que los nutrientes en lugar de acumularse en las hojas, se utilicen en este proceso.

Cuadro 2. Comparaciones de medias de concentración de cinco nutrimentos en hojas maduras (165 días)¹ de aguacate cv Fuerte, de distinto flujo de crecimiento.

Flujo de crecimiento	Concentración (%)				
	N	P	K	Ca	Mg
Otoño	1.67 ^a	0.14 ^a	0.82 ^a	1.52 ^a	0.90 ^a
Primavera	2.26 ^b	0.13 ^a	0.73 ^a	1.85 ^b	0.91 ^a
DSH ($\alpha = 0.05$)	0.16	0.01	0.09	0.09	0.03

¹ Edad aproximada.

Valores con letra igual en una misma columna, son estadísticamente similares de acuerdo a la prueba de Tukey.

CONCLUSIONES

- Los tratamientos aplicados en general modificaron las concentraciones de nutrimentos en las hojas, pero no alteraron sus patrones de variación estacional.
- Las concentraciones de N, P, y K disminuyeron con la edad de las hojas; en tanto que las de Ca y Mg se incrementaron.
- Por efecto de flujo de crecimiento hubo diferencias estadísticas en las concentraciones de P, K y Mg de las hojas jóvenes, en las de Ca de las maduras, y en las de N de los dos tipos de hojas. Únicamente los niveles de Mg de las hojas jóvenes fueron más elevados en la brotación de otoño.
- De los factores estudiados, el estiércol y la alfalfa fueron los que tuvieron mayor efecto sobre las variables de respuesta.

LITERATURA CITADA

- Bingham, F.T. 1961. Nutrition studies with mature avocado trees in sandculture: A progress report. Cal. Avocado Soc. Yearbk 45: 53-57.
- Bould, C. 1966. Leaf analysis of deciduous fruits, p. 651-684. In: N.F. Childers (ed). Nutrition of Fruit Crops. Tropical, Sub-tropical, Temperate Tree and Small Fruits. Horticultural publications, Rutgers-The State University.
- Embleton, T.W. y W.W. Jones. 1966. Avocado and mango nutrition. p. 51-68. In: N.F. Childers (ed). Nutrition of Fruit Crops. Tropical, Sub-tropical, Temperate Tree and Small Fruits. Horticultural publications, Rutgers-The State University.
- Emmert, F.H. 1959. Chemical analysis of tissue as a means of determining nutrient requirements of deciduous fruit plants. Proc. Amer. Soc. Hort. Sci. 73:521-547.
- Haas, A.R.C. 1952. Importance of inorganic elements in the growth of avocado trees. Cal. Avoc. Soc. Yearbk. 37: 187-195.
- Kook, R.C.J. y W.T. Young. 1977. Effect of age, position and fruiting status on mineral composition of "Tonnage" avocado leaves. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 102(3): 311-313.
- Smith, F.P. 1962. Mineral analysis of plant tissues. Ann. Rev. of Plant Physiol. 13: 81-105.
- Tirado T., J.L. 1977. Variaciones en la concentración de N, P y K en hojas de aguacate (Fuerte), por efectos de fertilización y estados fenológicos. Tesis Profesional. ENA, Chapingo, Méx. pp 28-57.
- Valenzuela U., J.G. 1984. Manejo integrado de la tristeza (*P. cinnamomi*) del aguacatero en Atlixco, Puebla. Tesis de Maestría en Ciencias. Colegio de Postgraduados, Chapingo, Méx. 82 p.
- Zentmyer, G.A. y C.R. Thompson. 1968. Saponins in relation to the control of avocado root rot with alfalfa meal. Cal. Avoc. Soc. Yearbk 52: 125-127.

COMPARACION DE METODOS INDIRECTOS PARA ESTIMAR LA EVAPOTRANSPIRACION DE LA SOYA EN TEMPORAL ¹

Zúñiga Estrada, L. ²

RESUMEN

El presente estudio se desarrolló en el Campo Agrícola Experimental del Sur de Tamaulipas (CAESTAM). El objetivo fue determinar un método indirecto para estimar la evapotranspiración potencial (ETP) a nivel local. La humedad del suelo se muestreó cada tercer día con el método gravimétrico, y se calculó la evapotranspiración real (ETR) de la soya, variedad Júpiter, la cual se sembró el 11 de junio, 22 de julio y 31 de agosto en 1984, y el 23 de julio en 1985.

La información meteorológica (temperatura y evaporación) para cada una de las fechas se tabuló, y se calculó la ETP por los métodos de Thornthwaite, Blaney y Criddle; Grassi y Christiansen, Hansen, FAO, y por una ecuación y el método de Hansen Ajustado, las cuales se compararon con la obtenida con el método gravimétrico. En el análisis de la información se utilizó la prueba de Bondad de ajuste χ^2 y posteriormente la regresión integral de Fischer.

Los resultados obtenidos mostraron que la ETR del cultivo fue 54.31, 39.41, 35.64 y 38.55 cm para las fechas antes mencionadas, respectivamente. Al comparar estos valores con los obtenidos por los métodos indirectos, se observó que el método de Thornthwaite los sobreestimó y el de Hansen, por lo contrario, subestimó dichos valores. Los otros métodos se mantuvieron similares. Cuando la información se analizó por intervalos mensuales, el mejor método fue el de Hansen Ajustado y estima en un 92% la ETR de la soya Júpiter.

ABSTRACT

The objective of this work which was conducted in the Campo Agrícola Experimental del Sur de Tamaulipas (CAESTAM) was to develop an indirect method for measuring soybean potential evapotranspiration (ETP). Soybean cv Jupiter seeds were planted on June 11, July 22, August 31, 1984 and July 23, 1985. Soil cores for gravimetric soil moisture determination were withdrawn every third day and evapotranspiration (ETR) calculated with these data.

Air temperature and tank evaporation data were used to estimate ETP by Thornthwaite; Blaney and Criddle; Grassi and Christiansen; FAO; Hansen, and Adjusted Hansen Equation methods. The ETP estimated by the above formulae were compared with ETP measured using Integral Fischer Regression and χ^2 test.

ETR of soybean planted on the above mentioned dates were 54.3, 39.4, 35.6 and 38.6 cm, respectively. Thornthwaite and Hansen method over- and subestimated ETR values. The remainder method produced similar values to those measured. When monthly intervals were analyzed, the Adjusted Hansen method explained 92% the ETR variation of soybean cv Jupiter.

INTRODUCCION

Con la utilización de los balances hídricos que resultan de comparar la evapotranspiración potencial (ETP) y la disponibilidad de agua en forma de precipitación, se pueden definir los problemas en cuanto a déficit o excesos de agua en una área, y en forma particular determinarse el consumo de agua por los cultivos (ETR) para obtener un rendimiento óptimo. Lo anterior establece bases para la programación agrícola de una zona, región o país, a través de la planificación de obras que permitan suministrar agua empleando el riego, o eliminando excesos por medio del drenaje.

Los métodos que permiten determinar la evapotranspiración de los cultivos, se pueden clasificar en: directos,

basados en el contenido de humedad del suelo y el desarrollo del cultivo, o indirectos, cuyas estimaciones utilizan datos climatológicos.

El área de influencia del Campo Agrícola Experimental del Sur de Tamaulipas (CAESTAM), cuenta con una superficie agropecuaria de 1 millón 500 mil ha aproximadamente, de las cuales sólo cerca del 12% posee infraestructura para riego, lo cual implica que el 88% restante es dependiente. En esta superficie no existen estudios básicos sobre las demandas evapotranspirativas de los cultivos, que permitan hacer un uso eficiente del agua en riego, y en temporal delimitar las regiones donde la precipitación satisfaga sus demandas de agua.

¹ Ponencia presentada en el XIX Congreso Nacional de la SMCS.

² CAESTAM, Estación Cuauhtémoc, Tamaulipas.

Considerando lo anterior, se realizó el presente estudio, cuyo objetivo principal fue el de obtener un método indirecto que utilice la información climatológica disponible para estimar la cantidad de agua perdida por el cultivo de la soya durante su ciclo vegetativo. Cabe señalar, que en la región este cultivo en primavera-verano se ha llegado a sembrarse cerca de 80 mil ha, considerándose el más importante en este ciclo.

REVISIÓN DE LITERATURA

La mayoría de los autores concuerda al definir la evapotranspiración como el total del agua evaporada por el suelo y la transpirada por la planta.

En las últimas décadas, se ha generalizado la estimación de la evapotranspiración de los cultivos para aplicarse con diferentes propósitos. De Oliveira *et al.*, (1980) estimaron, en Brasil, la ETP con el método de Penman como una función de factores geográficos con el objetivo de realizar una zonificación agrícola.

De igual manera Hane y Pumphey (1984), en la Universidad de Oregon, EUA, determinaron la ETP del cultivo de la papa *Solanum tuberosum* para ser usada en la programación de riegos en el norte y centro de Oregon.

Existen varias técnicas por las cuales la evapotranspiración puede ser estimada. Tanner, citado por Villalpando (1985), en 1967, dividió los métodos existentes en tres tipos: (1) método hidrológico o de balance hídrico, (2) métodos micrometeorológicos, estos incluyen la utilización del lisímetro, el aspersor de neutrones o el método gravimétrico y están diseñados para medir la evapotranspiración real (ETR), y (3) métodos empíricos, los cuales estiman la ETP y están fundamentados únicamente sobre la utilización de variables climáticas.

Dentro de los métodos empíricos más importantes han sido los desarrollados por Thornthwaite, en 1948, cuya fórmula se basa principalmente en la temperatura.

Otro de los métodos es el de Penman, en 1948, que considera la radiación solar neta para estimar la ETP, además utiliza factores como viento y humedad relativa que permiten ajustarla para lograr una mejor estimación.

Blaney y Criddle, citados por Torres (1982), realizaron en 1958 la estimación de la ETP considerando además de la temperatura, el porcentaje de horas-luz observado en la localidad, así como un coeficiente para ajustar la ETP máxima en función del cultivo. Al respecto, Thompson (1982) menciona que la precisión en los cálculos de la ETP mejora notablemente cuando se usan datos meteorológicos y fisiológicos del cultivo.

Jensen (1973), en una evaluación de métodos para estimar la ETP desde el punto de vista de precisión y elementos climáticos utilizados, concluye que no existe un método universal que se adapte a todas las condiciones climáticas.

Sin embargo, Haunam, citado por De Oliveira *et al.* (1980), considera que el mejor método para estimar la ETP a nivel mundial es el de Penman y describe como inconveniente que el método requiere de datos meteorológicos que no son comúnmente obtenidos en las estaciones.

Los métodos indirectos ya descritos utilizaron principalmente datos meteorológicos, pero Gornat *et al.* (1970) citan a Holmes y Jensen-Hansen entre otros investigadores que habrían generado métodos para estimar la ETP utilizando además la humedad del suelo.

De igual manera, Ritchie (1973) realizó un estudio para determinar la influencia de la humedad del suelo en la ETR del maíz y concluye que no existe una dependencia entre la humedad del suelo y la ETR del maíz.

Por lo contrario, Hane y Pumphey (1984) desarrollaron estudios sobre niveles de aplicación de agua durante el período de cultivo de la papa (*Solanum tuberosum* L.) en la Universidad de Oregon, EUA, y encontraron que cuando midieron la ETP para períodos cortos del ciclo del cultivo, por medio de las fórmulas de Penman y de Jensen-Hansen y la relacionaron con la evaporación del tanque, obtuvieron un coeficiente (K) que varía de acuerdo al desarrollo del cultivo. K aumentó de 0.3 en la emergencia a más de 0.8 al momento de la máxima área foliar y declinó con la madurez del cultivo. Resultados semejantes habían sido reportados por Gornat *et al.* (1970) en estudios realizados en Israel en 1966.

Con la utilización de los métodos directos para estimar la ETR, como lo son los lisímetros, Singh y Whitson (1975) calcularon una ETR de 412 y 392 mm de agua para dos variedades de soya (*Glycine max* L. Merr.) de hábito determinado e indeterminado, respectivamente. Peters y Johnson (1960) señalaron que una cosecha de 3,500 kg/ha necesita aproximadamente 600 mm de agua evapotranspirada.

Hinson y Hartwing (1978) mencionaron que los estudios realizados en los Estados Unidos indican que los campos de soya utilizan entre 4.5 y 8.0 mm de agua por día durante el llenado de grano. Asimismo, Witt y Van Babel (1955) registraron un consumo diario de 7.6 mm de agua durante los períodos culminantes, en el cultivo de la soya.

Una de las técnicas estadísticas que se han utilizado para comparar la ETR obtenida mediante métodos directos con la estimada a través de fórmulas empíricas, ha sido la regresión integral de Fischer. Mojarro y Palacios (Centro de Hidrociencias, 1982) hicieron uso de ella para comparar la ETR del lisímetro con la obtenida por la ecuación de Jensen-Hansen, encontraron que para el cultivo del frijol los coeficientes de determinación (r^2) fueron de 0.85 y deducen que la relación da una estimación aceptable de la ETP en esa región.

De igual manera, González (Centro de Hidrociencias, 1982) utilizó la regresión para comparar la ETP calculada a partir de los métodos de Thornthwaite, Blaney y Criddle y Hargreaves con la ETP estimada por medio de la evaporación del tanque, en un estudio sobre la estimación de requerimiento de riego en Guatemala, y concluyó que el método de Blaney y Criddle le permitió hacer una mejor zonificación de acuerdo a las necesidades de riego.

Más recientemente, Reddy (1983) utilizó la prueba de bondad de ajuste de χ^2 para comparar la ETP obtenida con el método ICSWAA desarrollado en el ICRISAT (India), probado en varias localidades, suelos, climas y condiciones de cultivos, y reportó resultados favorables para estimar la ETP.

Este método es de fácil empleo, ya que utiliza parámetros del tiempo que son medidos en estaciones convencionales (lluvia, temperatura y evaporación del tanque), además de los estados de desarrollo de los cultivos, basados en coeficientes y representados por el índice de área foliar.

MATERIALES Y METODOS

El experimento de soya se desarrolló en terrenos del Campo Agrícola Experimental del Sur de Tamaulipas (CAESTAM). El tipo de suelo en esta localidad es vertisol pélico, y las principales características físicas son: 21% de arena; 18% de limo y 61% de arcilla; la densidad aparente es de 1.21 g/cm³ de suelo. El contenido de humedad a capacidad de campo es de 42%, y en el punto de marchitez permanente, de 24%.

Se utilizó el cultivar Júpiter y se sembró el 11 de junio, 22 de julio y 31 de agosto, en 1984, y el 23 de julio en 1985. Las fechas se incluyeron para explorar la demanda evapotranspirativa de esta variedad que es la más generalizada a nivel comercial ya que se establecen siembras desde principios de junio hasta finales de agosto.

El diseño experimental del que formó parte este cultivar, fue el de bloques al azar con tres repeticiones por fecha, y la unidad experimental consistió en cuatro surcos separados a 80 cm con una longitud de 6 metros.

Durante el desarrollo del cultivo se registraron datos de fenología (R₁...R₈) considerados por Fehr y Caviness (1977), así como también por el método gravimétrico; se mantuvo en observación la humedad del suelo, realizándose muestreos cada tres días a partir de la fecha de siembra. Los muestreos se realizaron a cada 10 cm de profundidad hasta 60 cm, con lo cual se tuvieron un total de seis muestras por parcela y 18 por fecha de siembra.

La información meteorológica (evaporación y temperatura) se recabó en forma diaria y se tabuló de acuerdo a las necesidades de los métodos indirectos que estiman la evapotranspiración que posteriormente se describen.

En las estimaciones de la ETP, se utilizaron diferentes métodos indirectos, y sus valores se compararon con la ETR total obtenida con el método gravimétrico para las cuatro fechas de siembra, utilizándose la prueba de bondad de ajuste de χ^2 . Así como también se confrontaron por medio de la regresión integral de Fischer los valores mensuales de la ETR del gravimétrico con los obtenidos por los métodos indirectos que presentaron similitud al estimar la ETR total.

Método gravimétrico

Para calcular la evapotranspiración con el método gravimétrico, se utilizó el criterio adaptado por De la Peña, citado por Aguilera y Martínez (1980), en el cual la evapotranspiración se obtiene por diferencia en el contenido de humedad del suelo con muestras sucesivas a lo largo del ciclo vegetativo del cultivo.

Este método se utilizó como punto de comparación por ser el único de los métodos directos para estimar la ETR con los que cuenta el CAESTAM.

Método de Thornthwaite (1948)

$$ETP = 16 \frac{(10t)^a}{12}$$

donde:

ETP = evapotranspiración potencial
 t = temperatura media mensual
 I = índice de calor o temperatura
 $= \sum_{1-12} \frac{(t)^{1.514}}{5}$
 a = constante que depende del lugar y es función del índice
 $= 0.00000675 I^3 - 0.000077 I^2 + 0.0179 I + 0.4924$

Este método para estimar la evapotranspiración es válido para meses de 30 días de 12 horas cada uno, por lo que es necesario corregir la evapotranspiración mensual encontrada, utilizando el factor correspondiente al mes y a la latitud.

Método de Blaney y Criddle (1950)

$$ETP = KF$$

donde:

ETP = evapotranspiración total (cm)
 K = coeficiente estacional
 F = factor propuesto por Blaney y Criddle
 $= \frac{p(t + 17.8)}{21.8}$
 t = temperatura media mensual (°C)
 p = porcentaje de horas luz

Utilizando el criterio de Torres (1982) se determinó ET con el método gravimétrico, se calculó F con datos locales y se obtuvo K mediante:

$$K = \frac{ET}{F}$$

En esta fórmula se podrá extrapolar la K obtenida, para otros lugares cercanos en donde se desee estimar la evapotranspiración por este método.

Método de Grassi y Christiansen

$$ETP = kmf$$

donde:

ETP = evapotranspiración
 km = coeficiente mensual del cultivo
 f = la misma empleada en el método de Blaney y Criddle

Método de Hansen

$$ETP = kf$$

donde:

ETP = evapotranspiración
 k = factor que se obtiene de ET/EV a través del ciclo expresado en décimos
 f = evaporación para un periodo determinado

Conociendo la lámina evaporada en el evaporímetro del tanque tipo A, la evapotranspiración para un periodo determinado (generalmente mensual), se obtendrá multiplicando la k correspondiente a tal periodo, por la lámina evaporada en dicho periodo.

Método de la FAO (tanque evaporímetro)

$$ETP = EV \times kp$$

donde:

ETP = evapotranspiración
 EV = evaporación registrada en el tanque tipo A
 kp = coeficiente del tanque tipo A para diferentes condiciones climáticas.

La evaporación registrada en los tanques evaporímetros puede ser utilizada para estimar la ETP, siempre y cuando se hagan ajustes. Doorenbos y Pruitt (1977), citados por Villalpando (1985), presentan una tabla de ajustes de acuerdo a la ubicación del tanque evaporímetro, así como de las condiciones climáticas imperantes durante el periodo para el cual se desea convertir la evaporación.

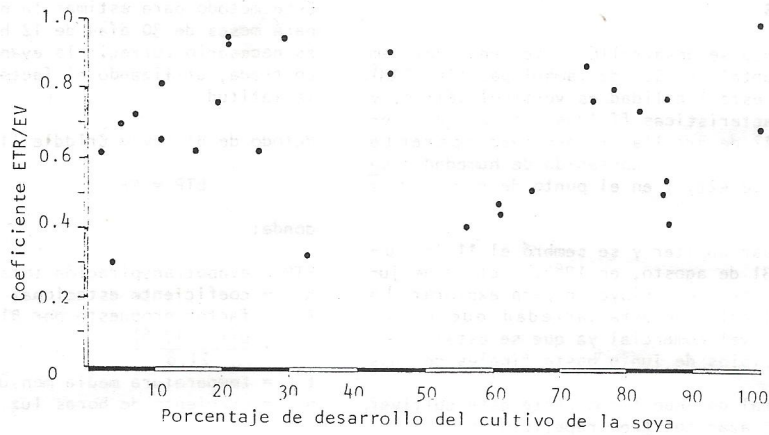


Figura 1. Dispersión de puntos encontrados al relacionar ETR/EV en las fechas de siembra, para etapas cortas de su ciclo vegetativo. CAESTAM 1985.

RESULTADOS Y DISCUSION

Por el método gravimétrico se obtuvo el total de la evapotranspiración real (ETR) para el cultivo de la soya (Júpiter), desarrollada en cuatro fechas de siembra; también se tabuló la evaporación para los mismos periodos (Cuadro 1).

En este cuadro se observa que los valores de ETR tendieron a disminuir de una manera proporcional al ciclo vegetativo del cultivo. Por otro lado, al comparar los valores de ETR con la EV, se observa que, en general, la ETR fue menor que la EV, siendo inferior en un 14% para la primera fecha y la proporción para las dos fechas restantes de 1984 fue menor al 5%, aumentando considerablemente a un 24% para la fecha de 1985, esto tal vez se debió a que la temperatura registrada en este año fue 0.5°C mayor a la de 1984 para el periodo de julio a noviembre.

Los valores obtenidos de ETR son semejantes a los reportados por Singh y Whitson (1975), los cuales fueron 41.2 y 39.2 cm de agua evapotranspirada por dos variedades de soya.

Cuadro 1. Totales de evapotranspiración real (ETR) del cultivar Júpiter y evaporación (EV) registrada en el tanque tipo A, para cuatro fechas de siembra. CAESTAM, 1985.

Fecha de siembra	Ciclo vegetativo días	Evapotranspiración real	Evaporación
		calculada cm	registrada cm
11 junio 1984	140	54.31	62.83
22 julio 1984	105	39.41	41.31
31 agosto 1984	98	35.64	37.21
23 julio 1985	113	38.55	50.50

Al igual que Hane y Pumphey (1984), los resultados de la ETR del cultivar Júpiter obtenidos para periodos cortos del ciclo vegetativo, se relacionaron con la EV registrada en el tanque y se obtuvieron los coeficientes que se muestran en la Figura 1.

En esta figura se muestra la dispersión de los coeficientes (ETR/EV) calculados para las cuatro fechas de siembra; los puntos se distribuyen tanto a lo largo como a lo ancho del sistema de ejes coordenados sin seguir alguna tendencia en particular, y esto se debió principalmente a la variación de las condiciones de humedad del suelo para cada fecha.

Con la información de ETR observada para periodos cortos, se ajustó a valores mensuales y por medio de la regresión, se obtuvo la siguiente ecuación para estimar la ETR.

$$ETR = -3.046 + 0.982(E) + 0.037(D)$$

$$x^2 = 0.89$$

donde:

- ETR = evapotranspiración real
- E = evaporación del tanque tipo A
- D = por ciento de desarrollo del cultivo

Por medio de esta fórmula se estimó la ETR en las cuatro fechas, la cual se incluye como un método para estimar la ETR.

Al utilizar los coeficientes obtenidos de relacionar la ETR/EV en forma mensual, se ajustó una curva (Figura 2) en la que se relaciona el porcentaje de desarrollo del cultivar Júpiter con dichos coeficientes.

Para calcular la ETR con la ayuda de la Figura 1 se utilizó lo propuesto por Hansen, asumiendo que: la ETR = coeficiente x EV. Este coeficiente engloba la capacidad del cultivar Júpiter para extraer agua del suelo, dependiendo de su contenido de humedad. Dicho método se considera como el de Hansen Ajustado para la localidad del CAESTAM, y la estimación de la ETR, en forma mensual, fue incluida para su comparación con el testigo (gravimétrico).

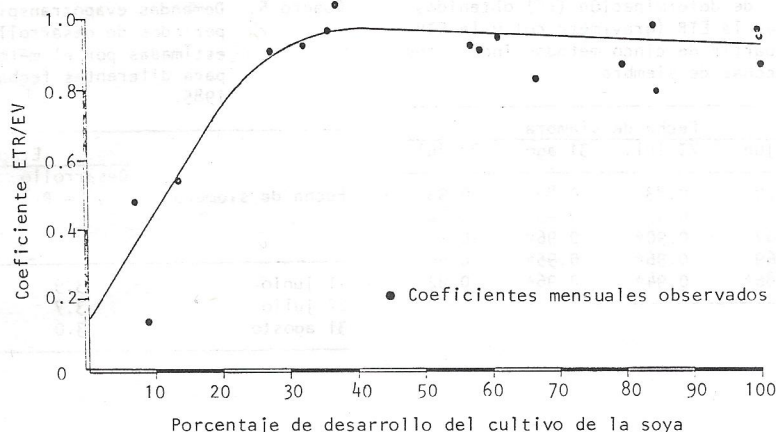


Figura 2. Curva ajustada para estimar la evapotranspiración (ETR) para el cultivo de la soja, obtenida al relacionar mensualmente la ETR/EV. CAESTAM 1985.

Se incluyeron además otros métodos para estimar la ETR los cuales utilizaron datos generados en la estación agrometeorológica del CAESTAM. En el Cuadro 2 se muestran los métodos empleados dentro del análisis.

El análisis, primeramente, se enfocó a identificar cuáles eran los métodos que mejor estimaban la ETR del gravimétrico para las cuatro fechas de siembra, por tal razón se utilizó el total de la ETP estimada con los métodos indirectos y se comparó por medio de la prueba de bondad de ajuste de χ^2 con la ETR del testigo, Cuadro 3. En este cuadro se observa que son cinco los métodos que en este trabajo muestran su bondad para estimar la ETR total para el cultivar Júpiter sembrado en cualquier fecha de siembra.

Los métodos de Thornthwaite sobreestimaron en todos los casos la ETR mientras que el de Hansen la subestimó.

A partir de los métodos que se pueden emplear para estimar la ETR total, y con la finalidad de hacer estimaciones para periodos cortos, que permiten hacer una evaluación más fina del consumo de agua por esta leguminosa, se relacionaron por medio de la regresión los valores mensuales de la ETP con la ETR calculada por el método gravimétrico, y los coeficientes de determinación obtenidos se muestran en el Cuadro 4.

En este cuadro se observa que los métodos de la FAO y la ecuación generada pueden estimar en más de un 90% la ETR mensual para las fechas de julio y agosto, pero el mejor por presentar una mayor consistencia es el método de Hansen Ajustado.

Cuadro 2. Métodos para periodos mensuales con los que se calculó la ETR del cultivar Júpiter y su correspondiente simbología.

Métodos	Simbología
Gravimétrico	Grav
Thornthwaite	T
Blaney y Criddle	B y C
Grassi y Christiansen	G y C
Hansen	H
FAO	FAO
Ecuación	Ec
Hansen Ajustado	HA

Cuadro 3. Prueba de bondad de ajuste (χ^2) al comparar la ETR total (cm) o el cultivar Júpiter, con la estimada a partir de siete métodos indirectos, en cuatro fechas de siembra. CAESTAM, 1985.

Método	Fecha de siembra				Valor de χ^2
	11 jun.	22 jul.	31 ago.	23 jul.	
Grav	54.31	39.41	35.64	38.55	
T	64.06	57.71	41.64	56.83	19.97
B y C	54.32	39.41	35.65	46.77	1.44*
G y C	53.81	38.14	34.58	58.52	6.98*
H	37.86	25.93	25.78	31.16	13.74
FAO	47.53	31.00	28.04	37.87	4.27*
Ec	57.18	36.86	34.43	44.20	1.19*
HA	54.08	37.21	35.32	43.93	0.79*

* La diferencia entre los métodos no es significativa al 5%.

Cuadro 4. Coeficientes de determinación (r^2) obtenidos al relacionar la ETR (gravimétrico) y la ETP estimada a partir de cinco métodos indirectos en cuatro fechas de siembra.

Método	Fecha de siembra			
	11 jun.	22 jul.	31 ago.	23 jul.
B y C	0.70	0.83	0.80	0.93*
G y C	0.01	0.07	0.45	0.70
FAO	0.07	0.90*	0.96*	0.97*
Ec	0.69	0.96*	0.95*	0.96*
HA	0.86*	0.94*	0.96*	0.92*

* Significativo al 5%.

Cuadro 5. Demandas evapotranspirativas diarias (mm) por períodos de desarrollo de la soya (Júpiter) estimadas por el método de Hansen Ajustado, para diferentes fechas de siembra. CAESTAM, 1985.

Fecha de siembra	Etapas de desarrollo		
	Desarrollo (s. a R_2)	Formación y llenado de grano (R_2 a R_6)	Madurez fisiológica (R_6 a R_8)
11 junio	3.9	3.8	3.7
22 julio	3.7	3.2	3.6
31 agosto	3.0	3.4	3.0

Con la utilización de este método, se estimaron las demandas evapotranspirativas diarias en mm por períodos de desarrollo del cultivo y los resultados se muestran en el Cuadro 5. Los resultados reportados en este cuadro, muestran que la demanda evapotranspirativa del cultivar Júpiter permanece casi constante a través del ciclo y esto pudiera ser atribuido a que el estudio se realizó bajo condiciones de temporal. Los resultados se muestran diferentes a los obtenidos por Hinson y Hartwing (1978), quienes encontraron que la soya utiliza entre 4.5 y 8.0 mm de agua diario durante el llenado de grano, por su parte Witt y Van Babel (1955) reportaron un consumo diario de agua de 7.5 mm durante los períodos culminantes.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- El método de Hansen Ajustado estimó la ETR de la soya (Júpiter) en forma mensual para las cuatro fechas de siembra.
- La ecuación obtenida y el método de la FAO, mostraron similitud con el testigo, en las fechas de julio y agosto.
- En forma general, el método de Thornthwaite sobreestima la ETR y el de Hansen la subestima.
- No se encontró variación en las demandas diarias de la ETR para las diferentes etapas del cultivo.

Por lo tanto se recomienda realizar estudios, bajo condiciones de riego, que permitan establecer las cantidades máximas de agua que la planta puede evapotranspirar e identificar las demandas por etapas de desarrollo del cultivo.

LITERATURA CITADA

- Aguilera, C.M. y E.R.Martínez. 1980. Relaciones agua-suelo-planta-atmósfera. Segunda ed. Departamento de Enseñanza, Investigación y Servicio de Irrigación. Universidad Autónoma Chapingo, México.
- Centro de Hidrociencias. 1982. Resúmenes de investigaciones publicadas entre 1970-79. Edición especial. Colegio de Postgraduados, Chapingo, México.
- De Oliveira, M.O., F.S.da Mota y J.B.da Silva. 1980. Estimates of potential evapotranspiration (Penman) as a function of geographical factors in Brasil. *Agric. Meteorol.* 22: 207-215.
- Fehr, W.R. y C.E.Caviness. 1977. Stages of soybean development. Special Report 80. Cooperative extension service, agriculture and home economics experiments station. Iowa State University of Science and Technology. Ames, Iowa.
- Gornat, B., D.Goldberg y D.Sadan. 1970. Changes in the ratio between sugar beet evapotranspiration and pan evaporation during the growing season. *Agronomy Journal*. Vol. 63-2: 256-258.
- Hane, D.C. y F.V.Pumphrey. 1984. Yield evapotranspiration relationships and seasonal crop coefficients for frequently irrigated potatoes. *American Potatoes Journal*. Vol. 61: 661-668.
- Hinson, K. y E.E.Hartwing. 1978. La producción de soya en los trópicos. Trad. FAO: Producción y protección vegetal. Roma. Estudios FAO. p 14-16 y 30-31.
- Jensen, M.E. 1973. Consumptive use of water and irrigation water requirements. A report for Teach. Comm.Aer. Soc. Civil Eng. New York.
- Peters, D.B. y L.C.Johnson. 1960. Soil moisture use by soybeans. *Agron. J.* 52: 687-689.
- Reddy, S.J. 1983. A simple method of estimating the soil water balance. *Agric. Meteorol.* 28: 1-17.
- Ritchie, J.T. 1973. Influence of soil water status and meteorological conditions on evaporation from a corn canopy. *Agron. Journal*. Vol. 6: 893-897.
- Singh, P.B. y N.E.Whitson. 1975. Evapotranspiration and water use efficiency by soybean lines deferring in growth habit. *Agronomy Journal*. Vol. 68.5: 834-835.
- Thompson, N. 1982. A comparison of formulae for the calculation of water loss from vegetated surfaces. *Agric. Meteorol.* 26: 265-272.
- Torres, R.E. 1982. Manual de conservación de suelos agrícolas. Segunda ed. México, Diana. 163 p.
- Villalpando, I.J.F. 1985. Metodologías de investigación en agroclimatología. Documento de circulación interna. INIFAP-SARH.
- Witt, D.M. y C.H.M.Van Babel. 1955. Irrigation of tobacco, peanuts and soybeans, p. p. Weater, the 1955 Yearbook of Agriculture. U.S. Govnt Printing Office. Washington D.C. 376-384.

TOMATE (*Lycopersicon esculentum*) Y ALGUNAS PROPIEDADES FÍSICAS DEL SUELO BAJO CONDICIONES DE ACOLCHADO ¹

Rivera Ortíz, P. ²
Obregón Villanueva, A. ²
Hernández Dávila, J. ³

RESUMEN

El objetivo de este estudio fue evaluar el efecto del acolchado sobre las propiedades físicas del suelo y desarrollo del tomate (*Lycopersicon esculentum*). Con este fin, un experimento de campo fue conducido en el municipio de Padilla, Tamps. Los tipos de acolchado fueron, plástico negro, plástico transparente, y cartón + plástico transparente. Se determinaron los efectos de los tratamientos sobre la temperatura, humedad, densidad aparente, espacio poroso y resistencia a la penetración del suelo. También se estudiaron los efectos sobre las siguientes características del cultivo: diámetro del tallo, altura y diámetro de la planta, diámetro de la raíz, dirección de crecimiento radical, floración, días a inicio de recolección y rendimiento.

El mayor rendimiento de tomate fue con cartón + plástico transparente, seguido por el plástico negro. El plástico transparente superó ligeramente al testigo.

ABSTRACT

The objective of this work was to evaluate the effect of three types of mulch on some physical soil characteristics and on the development of tomato plants (*Lycopersicon esculentum*). A field experiment was conducted in Padilla, Tamaulipas, México. The mulch types used were: black polyethylene film, transparent polyethylene film, and both cardboard and transparent polyethylene film. The effect of the treatments was evaluated on soil temperature, moisture, bulk density, porosity, and penetration resistance. The following plant features were also measured: shoot diameter, height, plant diameter, root diameter, direction of root growth, flowering, time for earliest harvest, and yield. The highest tomato yields came from plants from the treatment with both cardboard and transparent plastic followed by the black plastic. Yield related to transparent plastic was slightly higher than that from the black plastic.

INTRODUCCION

El avance agroindustrial representa para cada país un objetivo a alcanzar, ya que se tiene mayor cantidad de productos derivados de materias primas. Del petróleo se han obtenido diferentes productos, entre otros, los plásticos que han efectuado un impacto de considerable magnitud en todas las actividades humanas. En el sector agropecuario, los países industrializados están al frente en producción y utilización de materiales plásticos.

México es uno de los pocos países latinoamericanos que han empezado a utilizar los materiales plásticos en el sector agropecuario como una alternativa más a la solución de la problemática alimentaria.

La efectividad del acolchado se ha demostrado en diversas regiones del mundo, sin embargo, en la Zona Centro de Tamaulipas a partir del año de 1984 la Facultad de Agronomía - Victoria (UAT), con el propósito principal de evaluar esta nueva tecnología, inició el proyecto de investigación "Utilización de Plásticos en la Agricultura para Producción de Granos y Hortalizas" en colaboración con el Centro de Investigación en Química Aplicada (CIQA), apoyado económicamente por el Programa Nacional de Educación Superior (PRONAES) de la SEP. El presente

trabajo forma parte del proyecto mencionado y tiene como objetivos:

- (1) Evaluar el efecto del acolchado sobre los siguientes parámetros:
Suelo: temperatura, humedad, densidad aparente, espacio poroso, resistencia a la penetración.
Planta: diámetro del tallo, altura y diámetro de la planta, diámetro de la raíz, dirección del crecimiento radical, floración, días a inicio de recolección y rendimiento.
- (2) Estudiar las causas del incremento en el rendimiento del suelo acolchado sobre el suelo sin acolchar.

REVISION DE LITERATURA

El cultivo de tomate (*Lycopersicon esculentum*) requiere que el suelo sea profundo, permeable y esponjoso, con abundante materia orgánica.

El tomate puede producirse en suelos con un rango bastante amplio en pH. La reacción puede ser moderada entre ácida hasta ligeramente alcalina, o sea, pH de 6 a 7 (Casseres, 1971; Van Haeff, 1981).

¹ Ponencia presentada en el XIX Congreso Nacional de la SMCS.

² Facultad de Agronomía-Victoria, Universidad Autónoma de Tamaulipas, Tamps.

³ Centro de Investigación en Química Aplicada (CIQA), Saltillo, Coah.

La influencia del clima tiene una gran importancia para el desarrollo y salubridad del tomate. El medio adecuado para su desarrollo es en los climas templados secos aunque también es capaz de resistir climas calurosos. Una de las notables influencias del clima es el hecho de provocar la incidencia de enfermedades cuando las condiciones de temperatura y humedad son altas (Juscáfresa, 1969).

La temperatura media mensual óptima para obtener una buena producción de tomate está comprendida entre 16 y 17°C. Con temperaturas medias mensuales más elevadas o más bajas que éstas, la planta no desarrolla bien su vegetación e incluso puede verse seriamente perjudicada si se extremen mucho tales medidas. La temperatura ideal para el desarrollo vegetativo del tomate es de 18 a 24°C. La temperatura óptima de germinación está comprendida entre 25 y 30°C. Por debajo de los 10°C la semilla no germina; igual ocurre cuando la temperatura es mayor de 40°C. Con temperaturas superiores a 35°C, si la humedad relativa es escasa, puede deshidratarse la planta.

La floración y la fecundación se producen en condiciones óptimas si las temperaturas mínimas no bajan de los 12°C y las máximas no sobrepasan los 25°C; fuera de estos márgenes, la fecundación de las flores es defectuosa o nula (Serrano, 1978).

Efectos del acolchado de suelos sobre los factores que intervienen en el crecimiento de la planta

Los filmes de plástico proporcionan mayores ventajas que los conseguidos con materiales de origen mineral o vegetal, utilizados antiguamente en la cobertura de suelos (Robledo y Vicente, 1981).

Influencia sobre la temperatura del suelo

Según Ibarra (1980), la curva de temperatura promedio es mayor bajo el suelo acolchado que el suelo desnudo. La tendencia de las curvas varía considerablemente en relación a la pigmentación de la película y de su composición química. Durante el día el plástico transmite al suelo las calorías recibidas del sol, haciendo el efecto de invernadero. Durante la noche, el filme detiene en cierto grado el paso de las radiaciones caloríficas del suelo hacia la atmósfera, fenómeno que depende en mayor o menor cuantía, según se utilicen filmes de polietileno transparente, gris humo, etc., o bien se trate de filmes de PVC.

En general, bajo la lámina transparente, la temperatura del suelo asciende a varios grados durante el día; esto puede variar entre 2 y 10°C según la estación del año, el tipo de suelo, el nivel de iluminación solar y el contenido de humedad. Por la noche, la diferencia de temperatura entre el suelo cubierto y el no cubierto es más pequeña. Bajo la lámina negra la temperatura del suelo es muy poco superior a la del terreno descubierto e incluso en algunos casos puede ser ligeramente más baja.

Influencia sobre la estructura del suelo

El suelo acolchado con filmes de plástico presenta una estructura ideal para el desarrollo de las raíces de las plantas. Estas se hacen más numerosas, más largas en el sentido horizontal, a consecuencia de que la planta, al encontrar la humedad suficiente a poca profundidad y un suelo bien mullido, su sistema radicular se desarrolla más lateralmente que si tiene que buscarla a mayores profundidades, en cuyo caso sería en sentido vertical. Con el aumento de raicillas se asegura a la planta una mayor

succión de agua, sales minerales y además fertilizante que conducen a mayores rendimientos (Robledo y Vicente, 1981).

Influencia en la fertilidad del suelo

Dado que el acolchado puede influir positivamente en la temperatura y humedad del suelo, manteniendo esta última en un nivel óptimo, se podrá tener terreno en mejores condiciones para una buena nitrificación, y por lo tanto favorecer la absorción de nitrógeno por la planta. Al estar el terreno protegido por las láminas plásticas impermeables al agua, la lluvia y el agua de riego no erosionan ni lavan los elementos fertilizantes de los diferentes estratos del suelo. La pérdida de nutrientes, con el acolchado es casi nula.

Por otra parte, la actividad microbiana del terreno está influida por el estado físico, la humedad y la temperatura del suelo. La actividad microbiana, sobre todo durante la descomposición de sustancias orgánicas, favorece la producción de dióxido de carbono que es mucho mayor bajo el acolchado que en el suelo desnudo. En consecuencia es también mejor el aprovechamiento por la planta, lo que se traduce en un aumento cualitativo y cuantitativo de la producción (Ibarra, 1980).

Influencia sobre el rendimiento y precocidad de los cultivos

Salveti (1983) afirma que la técnica del acolchado de suelos produce aumentos considerables en la producción, que van de 20 a 300%, dependiendo del tipo de cultivo.

Ventajas que proporciona el acolchado de suelos

El Centro de Investigaciones en Química Aplicada (CIQA) indica que el acolchamiento de suelos permite lo siguiente: (a) obtener incrementos del rendimiento que pueden variar del 10 al 50%, dependiendo del cultivo; (b) precocidad en la cosecha de 10 a 30 días; (c) en algunos cultivos a la intemperie, obtener productos más limpios que en suelos desnudos; (d) suprimir parcial o totalmente las labores culturales tales como deshierbes y escardas (Ibarra, 1980).

Algunos resultados de investigaciones con acolchado en tomate y en otros cultivos

Knavel y Mohr (1967) trabajaron con tomate, melón y calabacita bajo cobertura de plástico transparente y negro, y papel negro. Estos autores encontraron que las temperaturas en el suelo en cada tratamiento fueron diferentes. Las temperaturas fueron considerablemente altas a 7.5 cm de profundidad bajo el plástico transparente en cada período en que se tomaron las lecturas (diariamente de 8 a 9 a.m., de 1 a 2 p.m. y de 4 a 5 p.m.), en comparación con los suelos con papel negro, polietileno negro, o sin acolchar.

Así mismo, estudiaron la distribución de raíces de melón, tomate, calabacita y chile (*Capsicum* spp.), cubiertas con y sin polietileno. Las raíces de las plantas de tomate con polietileno transparente fueron muy semejantes a las de aquellas plantas que no fueron cubiertas. El crecimiento de las raíces de tomate, chile y melón fue más grande bajo polietileno negro.

Geneve (1981) realizó trabajos con melón (variedad Scoop) y tomate (variedad Sunup), cultivados al aire libre sin acolchar o con acolchado, utilizando polietileno transparente y negro, o una capa de hierba picada de 4 pulgadas

de espesor. En el acolchado con polietileno transparente resultó un más rápido crecimiento, y los rendimientos se incrementaron para todos los cultivos, especialmente el melón. Los rendimientos bajo polietileno negro fueron igualmente buenos en el caso de los tomates, y con este acolchado no hubo crecimiento de malezas.

Black y Greg (1962) compararon la temperatura del suelo bajo acolchado con polietileno negro con suelos que no se cubrieron, encontrando en promedio de 5.4 a 12.6°C más caliente a 7.6 cm de profundidad, bajo plástico negro durante períodos de 24 horas en días claros de los meses de julio y agosto.

MATERIALES Y METODOS

El sitio experimental se ubicó en el rancho "Las Águilas" propiedad de la Facultad de Agronomía - Victoria, de la Universidad Autónoma de Tamaulipas; a 1.3 km al este del km 43 de la carretera Cd. Victoria-Matamoros, en el Municipio de Padilla, Tamps. Se encuentra localizada geográficamente entre 24°06' y 24°08' latitud norte, 98°58' y 98°59' longitud oeste, con una altitud de 154 msnm.

La temperatura media anual oscila entre 20 y 22°C, con clima templado, semi seco, con pequeño o nulo excedente de agua y cálido con régimen de eficiencia térmica normal, precipitación media anual de 723 mm. Se presentan dos períodos de lluvias: el primero de mayo a junio, con una máxima de 111 mm en mayo; el segundo período comprende de agosto a octubre con una máxima de 152 mm en septiembre. El área de estudio se encuentra dentro de la región de influencia de los nortes en invierno, y de ciclos tropicales en verano.

Se estudiaron cuatro tratamientos:

- T₁ = plástico negro
- T₂ = plástico transparente
- T₃ = cartón + plástico transparente
- T₄ = testigo (sin acolchar).

Los tratamientos se arreglaron en un diseño experimental de bloques al azar, con cuatro repeticiones. La unidad experimental consistió de siete surcos de 10 m de longitud y separados a 1.84 m con una distancia entre plantas de 50 cm.

El trabajo de campo se inició en la preparación del terreno que consistió en un barbecho (rotura) y tres pasos de rastra. Posteriormente, se levantaron los surcos para realizar la fertilización en banda sencilla con la dosis 120-60-00 con urea y superfosfato triple; después se hicieron los bordes y regaderas.

El siguiente paso consistió en la instalación y perforación del plástico en forma manual. El 4 de septiembre de 1984 se realizó el trasplante, utilizándose la variedad ACE 55. A causa de las abundantes precipitaciones pluviales, no hubo necesidad de aplicar el riego de trasplante, pero el exceso de humedad ocasionó una reducción de plántulas; por consiguiente se hizo una reposición de fallas.

Se colocaron cuatro barras de unícel perforadas longitudinalmente en ocho unidades experimentales, para posteriormente introducir los termómetros y medir la temperatura del suelo correspondiente a 7, 15, 25 y 35 cm de profundidad. La toma de lecturas se realizó por lo menos dos veces a la semana, entre las 14 y 15 horas y por la mañana.

A través del método gravimétrico se determinó el contenido de humedad del suelo en los cuatro tratamientos; se muestreó cada semana, así como también antes y después del riego.

La densidad aparente y el espacio poroso del suelo se determinaron al final del ciclo vegetativo del cultivo en cada unidad experimental para las profundidades de 0-15 y 15-30 cm. Para determinar la densidad aparente se utilizó la barrena para muestras inalteradas, tipo Uhland. La porosidad se calculó en base a los valores obtenidos de la densidad aparente mediante la ecuación

$$\text{porosidad} = 1 - \frac{D_a}{D_r} (100)$$

La densidad real (Dr) se consideró con un valor de 2.65 g/cm³.

La resistencia a la penetración se midió al finalizar el ciclo del cultivo a nivel bajo y a nivel alto de humedad en el suelo. Se utilizó un penetrómetro Soiltest.

Se evaluó el diámetro del tallo dos veces: la primera a los 24 días después del trasplante, y la segunda al finalizar el ciclo del cultivo (84 días después de la primera medición).

La altura de la planta se evaluó solamente una vez a los 23 días después del trasplante, ya que en la planta de la variedad ACE 55 predomina el crecimiento lateral en el sistema de piso.

La primera medición del diámetro de la planta se llevó a cabo a los 23 días después del trasplante y otra al transcurrir 103 días más.

El diámetro de la raíz y la dirección del crecimiento radical se evaluaron al finalizar el ciclo del cultivo y se analizó una planta por unidad experimental.

Se realizó un primer conteo de plantas con flores a los 39 días después del trasplante; el segundo conteo fue a los 11 días después del primer conteo.

Se consideraron los días transcurridos desde el trasplante hasta el inicio de la cosecha para cada tratamiento. La producción del cultivo se evaluó a través del rendimiento (ton/ha) de tomate, obtenido en cinco cortes. Los resultados obtenidos se evaluaron a través de los análisis de varianza (ANVA), pruebas de diferencia mínima significativa (DMS) y comparación de medias.

RESULTADOS Y DISCUSION

El total de registros de la temperatura del suelo fue de 35, de los cuales se tomaron los representativos para la presentación de los resultados.

El comportamiento de la temperatura máxima en los diferentes tratamientos fue de la forma siguiente. En un plástico transparente osciló de 40 a 47°C, mientras que en los tratamientos con plástico negro, y cartón + plástico transparente fue intermedia y semejante entre sí (32-38°C); en el testigo fue de 31 a 33°C. Todos estos rangos correspondieron a la profundidad de 2 centímetros.

En los cuatro tratamientos la temperatura del suelo disminuyó al aumentar la profundidad (Figura 1), lo cual ha sido citado por otros autores, como Bayer *et al.* (1973) y Gavande (1973). Además, se observa que el plástico transparente presenta los rangos de mayor variación de 2 a 2.5 cm de profundidad (15-17°C), mientras que para el plástico negro, y cartón + plástico transparente el rango de variación fue de 7 a 9°C, y en el testigo de 5 a 7°C. A

Los incrementos promedio de los tratamientos con acolchado sobre el testigo fueron los siguientes: cartón + plástico transparente 25.45%, plástico transparente 16.36% y plástico negro 12.36%. Esto significa que en el suelo acolchado el contenido de humedad incrementado varió del 12 al 25% por encima del suelo sin acolchado, lo cual es posible debido a que las cubiertas plásticas redujeron las pérdidas de agua por evaporación.

De acuerdo al análisis de varianza (ANVA), el acolchado no tuvo significancia sobre la densidad aparente (D_a), pero sí mostró significancia para la profundidad. La prueba de diferencia media significativa (DMS) hizo notar que la mayor densidad aparente (1.1873 g/cm^3) corresponde al cartón + plástico transparente para la profundidad de 15.30 cm, la menor (1.0853 g/cm^3) en el plástico transparente a la profundidad 0-15 cm, y el término medio el plástico negro en ambas profundidades (1.1654 y 1.0984 g/cm^3), el testigo también en ambas profundidades (1.1779 y 1.1367 g/cm^3), plástico transparente para la profundidad 15-30 cm (1.1099 g/cm^3) y cartón + plástico transparente de 0-15 cm (1.1096 g/cm^3).

También se observa en el Cuadro 2 que los tratamientos con acolchado aumentaron el valor de la densidad aparente al aumentar la profundidad; en el testigo ocurrió lo contrario. Esto es factible, ya que el suelo sin cubierta plástica contiene menos humedad en la parte superficial, y por lo tanto se endurece más rápidamente. Así mismo, en este caso pudo ser un efecto causado por las gotas de lluvia al golpear el suelo sin acolchado.

Estas situaciones no fueron detectadas estadísticamente, sin embargo, entre el testigo y el plástico transparente hay una diferencia de 0.0926 g/cm^3 , equivalente a 13.89 ton/ha de suelo a 15 cm de profundidad. A 30 cm la diferencia es de 0.0268 g/cm^3 , equivalente a 4.02 ton/ha. En tonces, se asume que estas diferencias son suficiente para ser consideradas significativas desde un punto de vista agronómico.

El ANVA mostró que no hay significancia entre los diferentes tratamientos sobre el espacio poroso, pero como este depende de la densidad aparente, es posible que el acolchado influya ligeramente sobre el espacio poroso al igual que la D_a , ya que el suelo sin acolchar denotó valores ligeramente mayores de 15.30 cm y menores de 0-15, en contraste con el acolchado cuyos valores fueron mayores de 0-15 cm y menores de 15-30 cm de profundidad (Cuadro 3).

Cuadro 2. Promedio de la densidad aparente en cada profundidad.

Tratamiento	Profundidad cm	Densidad aparente g/cm^3
1	0-15	1.0984
	15-30	1.1654
2	0-15	1.0853
	15-30	1.1099
3	0-15	1.1096
	15-30	1.1873
4	0-15	1.1779
	15-30	1.1367

Cuadro 3. Promedio del espacio poroso en cada profundidad.

Tratamiento	Profundidad cm	Espacio poroso %
1	0-15	58.551
	15-30	56.022
2	0-15	59.045
	15-30	58.117
3	0-15	58.128
	15-30	55.196
4	0-15	55.551
	15-30	57.105

El ANVA para la resistencia a la alta penetración para ambos niveles de humedad (bajo y alto) señala alta significancia entre tratamientos. Al aplicar la prueba de DMS para el bajo nivel, señala que los tratamientos bajo acolchado presentan la menor resistencia a la penetración (plástico negro 57.93, plástico transparente 53.07 y cartón + plástico transparente 44.64 lb/pulg²) y también al cartón + plástico transparente

Los resultados obtenidos demuestran que hay una relación entre el contenido de humedad y la resistencia a la penetración, ya que a alto contenido de humedad, la resistencia fue menor en todos los tratamientos, mientras que a bajo contenido de humedad la resistencia fue mayor. Además, los tratamientos bajo acolchado presentaron menos resistencia a la penetración que el testigo para ambos niveles de humedad.

Para estimar el efecto del acolchado sobre el desarrollo vegetal, se evaluaron los siguientes parámetros.

Diámetro del tallo.- Dos mediciones fueron realizadas: la primera a los 24 días del trasplante y la segunda a los 84 días después de la primera medición. El análisis de varianza no reportó significancia entre tratamientos para la primera medición, pero en la segunda medición sí se reporta alta significancia. La prueba de DMS señala que los tres tratamientos bajo acolchado superaron al testigo (12.18 cm), ya que presentaron mayor diámetro del tallo (Cuadro 4).

Cuadro 4. Prueba de DMS para diámetro del tallo al finalizar el ciclo del cultivo (mm).

	\bar{Y}_1	\bar{Y}_3	\bar{Y}_2	\bar{Y}_4
	16.28	16.18	15.46	12.18
\bar{Y}_4 12.18	4.10	4.00	3.28	0.00
\bar{Y}_2 15.46	0.82	0.72	0.00	
\bar{Y}_3 16.18	0.10	0.00	DMS 0.05 = 1.86	
\bar{Y}_1 16.28	0.00		DMS 0.01 = 2.68	
1o. $\bar{Y}_1, \bar{Y}_3, \bar{Y}_2$	_____			
2o. \bar{Y}_4	_____			

Altura de la planta.- Solamente se evaluó a los 23 días después del trasplante, ya que el crecimiento posterior se manifestó radialmente. El ANVA reportó significancia entre tratamientos y al aplicarse la prueba de DMS (Cuadro 5) mostró que el plástico negro reporta la mayor altura (23.72 cm), seguido por el plástico transparente + cartón (20.65 cm). La menor altura fue en el plástico transparente (18.40 cm) y en el testigo (18.10 cm).

Diámetro de la planta.- Para evaluar este parámetro, también fueron realizadas dos mediciones: la primera a los 23 días después del trasplante, y la segunda a los 103 días después de la primera medición. El ANVA para la medición correspondiente a los 23 días reporta significancia y al separar las medias a través de la prueba de DMS indica tres categorías, las cuales ordenadas de mayor a menor diámetro, fueron las siguientes: plástico negro (32.28 cm) y plástico transparente + cartón (26.21 cm); plástico transparente (21.42 cm), y el testigo (20.32 cm). En la segunda medición el ANVA reportó alta significancia. La prueba de DMS al 0.01 de probabilidad señala al plástico transparente + cartón como el tratamiento con diámetro mayor (156.67 cm); en segundo término del plástico negro (147.32 cm) y el menor diámetro fue en los tratamientos con plástico transparente (120.82 cm), y en el testigo (120.67 cm).

Diámetro de la raíz.- Los efectos producidos por los tratamientos fueron significativos de acuerdo al ANVA y al separar las medias señala que el mayor diámetro de raíz se presentó en el plástico transparente + cartón (5.97 mm), en segundo término estuvo el plástico negro (5.05 mm), y con diámetro menor el plástico transparente (4.42 mm), y el testigo (4.17 mm).

Dirección del crecimiento radical

El Cuadro 6 establece que en los tratamientos bajo acolchado se presentó un número mayor de raíces con crecimiento lateral (plástico negro 6.75, plástico transparente + cartón 5.00, y plástico transparente 4.25), que en el testigo (3.25). Estas cifras expresadas en porcentaje, representan en promedio el 72% de crecimiento lateral en los tratamientos con acolchado y el 38% para el testigo.

Este comportamiento fue provocado por la densidad aparente y por la resistencia a la penetración, las cuales también estuvieron relacionadas con el contenido de humedad en el suelo.

Cuadro 5. Prueba de DMS para altura de la planta (cm).

	\bar{Y}_1	\bar{Y}_3	\bar{Y}_2	\bar{Y}_4
	23.72	20.65	18.40	18.10
\bar{Y}_4 18.10	5.62	2.55	0.30	0.00
\bar{Y}_2 18.40	5.32	2.25	0.00	
\bar{Y}_3 20.65	3.07	0.00	DMS 0.05 = 3.49	
\bar{Y}_1 23.72	0.00		DMS 0.01 = 5.01	
1o. \bar{Y}_1 , 2o. \bar{Y}_3 , 3o. \bar{Y}_2 y \bar{Y}_4				

Cuadro 6. Número promedio de raíces por planta y dirección del crecimiento radicular.

Tratamiento	Laterales		Verticales		Inclinadas		Primarias
		%		%		%	
1	6.75	77.14	1.25	14.28	0.75	8.58	8.75
2	5.00	74.07	1.50	22.22	0.25	3.71	6.75
3	4.25	65.38	1.25	19.23	1.00	15.39	6.50
4	3.25	38.23	1.50	12.64	3.75	44.13	8.50

Floración

Se realizaron dos conteos de plantas con flores: el primero a los 39 días, y el segundo a los 50 días después del trasplante, respectivamente. Los resultados del Cuadro 7 muestran que el tratamiento con mayor porcentaje de plantas con flores fue el plástico transparente + cartón (27.19) y (81.00), le siguió el plástico negro (14.98 y 74.96). Los menores porcentajes fueron en el plástico transparente (6.63 y 47.58) y en el testigo (2.97 y 46.91). Lo anterior sugiere que tanto el plástico negro como el cartón + plástico transparente estimularon la floración al presentar mejores condiciones de humedad y temperatura en el suelo.

Días a inicio de recolección

Los días transcurridos desde el trasplante hasta el inicio de la recolección fueron los siguientes: plástico negro y cartón + plástico transparente 77, plástico transparente 82; testigo 87. En base a estos datos los tratamientos donde hubo mayor precocidad fue en el plástico negro y en el plástico transparente + cartón, con una diferencia de 10 días comparados con el testigo, y de 5 días comparados con el plástico transparente, el cual su peró con 5 días de precocidad al testigo.

Cuadro 7. Porcentaje de plantas con flores a dos intervalos de días a partir del trasplante.

Trat. int.	Repeticiones				Promedio	
	I	II	III	IV		
1	39	14.40	13.87	14.88	14.98	
	50	88.98	70.80	74.38	65.69	74.96
2	39	7.02	4.24	4.95	7.32	6.63
	50	52.63	41.52	37.62	58.54	47.58
3	39	30.43	7.14	54.54	16.67	27.19
	50	86.95	57.89	100.00	79.17	81.00
4	39	5.69	3.28	0.76	2.14	2.97
	50	43.90	38.52	48.09	57.14	46.91

Rendimiento

El ANVA reportó alta significancia entre tratamientos en relación a los rendimientos obtenidos. La prueba de DMS indica que el cartón + plástico transparente produjo el rendimiento más alto con 11.8597 ton/ha (115.04% superior al testigo), y en segundo lugar el plástico negro con 9.5928 ton/ha (73.93% sobre el testigo). Los rendimientos menores se presentaron en el plástico transparente con 6.2855 ton/ha (13.97% sobre el testigo), y en el testigo con 5.5152 ton/ha. Estos datos demuestran que tanto el cartón + plástico transparente y el plástico negro incrementaron grandemente el rendimiento en comparación con el testigo.

Los resultados anteriores establecen que la cubierta plástica que menor incremento presentó sobre el testigo, en todos los parámetros, fue el plástico transparente debido principalmente a las altas temperaturas que provocó en el suelo.

El cartón + plástico transparente y el plástico negro reportaron incrementos considerables sobre el testigo en lo que respecta al desarrollo de la planta, pero el cartón + plástico transparente presenta dos desventajas en su utilización: (1) la dificultad para conseguir el cartón en cantidades suficientes; (2) incremento de mano de obra debido a su colocación.

De acuerdo a las evaluaciones realizadas, las causas de los incrementos mencionados fueron:

- mejores condiciones de temperatura durante el día en el suelo acolchado con cartón + plástico transparente y con plástico negro;
- el acolchado mantuvo el suelo con mayor calor que el testigo durante la noche;
- mayor contenido de humedad en el suelo acolchado que en el suelo sin acolchar;
- densidad aparente menor y espacio poroso ligeramente mayor en el suelo acolchado, lo cual permitió un mayor crecimiento lateral del sistema radical, a la profundidad de 0-15 cm;
- la consistencia del suelo acolchado fue menor que la del testigo, lo cual también provocó mejores condiciones para el desarrollo de la raíz.

La etapa de recolección abarcó del 20 de noviembre de 1984 al 5 de enero de 1985. El día 4 de enero se presentó una helada que ocasionó la pérdida total de plantas y en consecuencia se considera como la causa principal de

la baja producción, pues se calculó que faltaron por hacer dos o tres cortes de alta producción. El número total de cortes fueron cinco.

CONCLUSIONES

- El plástico transparente provocó las temperaturas del suelo más altas. El plástico negro y el cartón + plástico transparente presentaron temperaturas similares entre sí, pero mayores a las del testigo y menores a las del plástico transparente.
- El acolchado presentó mayores contenidos de humedad en el suelo que el suelo sin acolchar.
- El suelo acolchado presentó valores menores en la densidad aparente de 0-15 cm de profundidad y mayores de 15-30 cm. En el suelo sin acolchar resultó lo contrario.
- El suelo acolchado mostró valores mayores de porosidad de 0-15 cm de profundidad y menores de 15-30 cm; en el suelo sin acolchar fue al contrario.
- La resistencia a la penetración fue mayor en el testigo que en el suelo acolchado.
- El acolchado produjo plantas con mayor grosor de tallo que el testigo.
- En el plástico negro se tuvieron plantas de mayor altura y las de menor altura se tuvieron en el plástico transparente y en el testigo.
- El diámetro mayor de planta a los 23 días después del trasplante se obtuvo con el plástico negro, y el diámetro menor fue para el plástico transparente y para el testigo. A los 126 días después del trasplante, el diámetro mayor se presentó en el cartón + plástico transparente, y las de menor diámetro en el plástico transparente y en el testigo.
- El crecimiento horizontal fue mayor que el crecimiento vertical en el suelo acolchado.
- El suelo acolchado con cartón + plástico transparente presentó el mayor diámetro de la raíz.
- Los tratamientos con mayor precocidad en la floración fueron el plástico negro y el cartón + plástico transparente, y los de menor precocidad fueron el plástico transparente y el testigo.
- El plástico negro y el cartón + plástico transparente lograron el inicio de la recolección de frutos 10 días antes que el testigo.
- El mayor rendimiento fue en el tratamiento con cartón + plástico transparente seguido por el plástico negro; el plástico transparente superó ligeramente al testigo.

LITERATURA CITADA

- Baver, L.D., W.H.Gardner y W.R.Gardner. 1973. Física de suelos. UTEHA. México.
- Black, C.A. y B.W.Greg. 1962. Nitrate accumulation in soils covered with plastic mulch. Agron. J.
- Casseres, E. 1971. Producción de hortalizas. Herrero Hermanos Sucesores, S.A. México.
- Gavande, S.A. 1973. Física de suelos. Limusa-Wiley, SA México.
- Geneve, R.L. 1981. Selecting a mulch for your vegetable garden. Minnesota Horticulturist. Minnesota. USA.
- Ibarra, L. 1980. Manual de Agropásticos. CIQA. Saltillo. Coah. México.
- Juscafresa, B. 1969. Como cultivar fresas, fresas y tomatos. AEDOS. España.
- Knave, E.D. y L.H.Mohr. 1967. Distribution of roots of four different vegetables under paper and polyethylene mulch. Proc. Am. Soc. Horticultural Sci.
- Robledo, F. y M.Vicente. 1981. Aplicación de los plásticos en la agricultura. Mundi-Prensa. España.
- Salvetti, M.G. 1983. O. Polietileno na agropecuaria brasileira. Brasil.
- Serrano, Z. 1978. Tomate, pimiento y berenjena en invernadero. Publicaciones de Extensión Agraria. España.
- Van Haef, J.N.M. 1981. Tomates. Manuales para la Educación Agropecuaria. SEP. Trillas. México.

**EFFECTO DE NIVELES DE RIEGO POR GOTEO EN DOS ETAPAS
FENOLOGICAS EN LA PRODUCCION DE LA VID EN ZACATECAS ¹⁾**

José Verástegui Ch. ²⁾
Ángel G. Bravo L. ²⁾

RESUMEN

Se evaluaron niveles de riego por goteo en vid, variedad Palomino, en función de la lámina evaporada de un tanque evaporímetro tipo A, en el Campo Agrícola Experimental de Zacatecas, durante 1979 y 1980. Los niveles para la etapa de "brotación-cosecha" fueron 0.2, 0.4, 0.6 y 0.8 de la evaporación (Eo). En la etapa "antes de brotación" los niveles fueron 0.0, 0.1 y 0.2. Se evaluó el rendimiento por planta, y como consecuencia de una helada por radiación se cuantificó el número de plantas muertas. Los resultados muestran que los niveles de la etapa "antes de brotación" no tuvieron efecto sobre la producción ni en el control de la helada.

Los niveles de la etapa "brotación-cosecha" sí influyeron en la producción de uva por planta, y también afectaron el número de plantas muertas, disminuyendo en forma considerable con los niveles 0.6 y 0.8 Eo. Se hizo un ajuste a la relación producción y niveles de evaporación, obteniéndose una curva cuadrática. El valor máximo de este ajuste fue 0.68, por lo que se sugiere para la región de estudio determinar la lámina de riego, utilizando el sistema de goteo, y multiplicando la evaporación por 0.68.

ABSTRACT

Different levels of drip irrigation were evaluated in grape vine, cultivar Palomino. The irrigation determinant was given by the evaporation measured in a class A pan evaporimeter. The experiment was conducted at the Zacatecas Experimental Station, during 1979 and 1980. The irrigation levels for the phenological stage "budding-harvest" were 0.2, 0.4, 0.6 and 0.8 out of the pan evaporation (Eo). At the phenological stage "before budding", the irrigation levels were 0.0, 0.1, and 0.2 out of the pan evaporation. Yield per plant was evaluated, and since a frost occurred, the number of plants killed were taken into account. The results have shown that "before budding" the irrigation levels had no effect on yield, nor in protecting the plants against frost. At the phenological stage of "budding-harvest", the irrigation levels had a significant effect on yield, and the number of plants killed decreased at the irrigation levels of 0.6 and 0.8 Eo. A function was developed between yield and established evaporation levels; this function adjusted to a quadratic form being the higher value in the curve equal to 0.68. According to this function, it is suggested to use values of 0.68 times pan evaporation to irrigate grape vine in this region, given that a drip irrigation system is used.

INTRODUCCION

En los Valles Centrales del Estado de Zacatecas la limitante para la producción agrícola es la disponibilidad de agua para el desarrollo de los cultivos. Esta limitante motiva la búsqueda de opciones de solución entre las que se puede mencionar el aumento en las eficiencias de conducción, distribución y optimización de la cantidad de agua empleada por el cultivo. La aplicación de agua por el método de riego por goteo cubre los dos primeros puntos, faltando por determinar la lámina de riego por aplicar

al cultivo. El objetivo de este trabajo fue determinar el nivel óptimo de riego por goteo para la vid.

Godoy (1978) demostró que utilizar como determinante de riego el contenido de humedad aprovechable en el suelo, para vid en riego por inundación es de utilidad operativa. En un trabajo posterior, Godoy (1985) menciona que el efecto del contenido de humedad aprovechable en el suelo como determinante del riego sobre la planta es causa del potencial del agua en el suelo.

¹⁾ Ponencia presentada en el XIX Congreso Nacional de la SMCS.

²⁾ CAEZAC -CIANOC-INIFAP, Apartado Postal 18, 98500 Calera de V.R., Zac.

En el caso de riego por goteo, debido a que no se riega toda la superficie del terreno, y a que el contenido de humedad en el bulbo de humedecimiento no es uniforme (Keller y Karmeli, 1974), las determinantes de riego: contenido de humedad aprovechable y potencial del agua en el suelo, dificultan el control del riego.

Bajo la consideración de que la evaporación integra la demanda de agua por la planta, se emplean las lecturas registradas en un evaporímetro tipo A (Fimbres y Lagarda, 1985) como determinantes de riego en riego por goteo.

El efecto de los niveles de riego bajo un sistema de riego por goteo sobre el rendimiento, calidad del fruto y calidad del vino ha sido demostrado por otros autores (McCarthy, 1981; Hepner y Bravo, 1985; Hepner et al., 1985).

MATERIALES Y METODOS

Este trabajo se realizó en terrenos del Campo Agrícola Experimental de Zacatecas, situado en la latitud norte 22°54'30" y en la longitud oeste 102°39'33", con una altitud de 2,197 msnm. En el Cuadro 1 se presentan las principales características físico-químicas del terreno.

El viñedo fue establecido con la variedad "Palomino", en marzo de 1975, con distancia entre hileras de 3 m, y entre plantas de 2 m. El sistema de conducción fue telégrafo horizontal bajo un sistema de poda de cordón bilateral. El diseño experimental empleado fue bloques al azar con arreglo de tratamientos en parcelas divididas con seis repeticiones. En la parcela mayor el factor evaluado fue regar una lámina igual a una fracción de la evapotranspiración potencial (en este trabajo fue

lámina evaporada en un tanque tipo A) desde la brotación a la cosecha. En la parcela menor fue: tres meses antes de la brotación de las yemas. El cultivo no se regó todo el año, quedando un período sin aplicar agua comprendido entre la cosecha y los primeros días del mes de enero. Los niveles evaluados para la etapa "antes de la brotación" durante 1979 y 1980 fueron 0.0, 0.1 y 0.2 Eo. En la etapa de "brotación a cosecha" en los mismos años los niveles fueron 0.2, 0.4, 0.6 y 0.8 Eo. La parcela experimental constó de tres hileras de plantación con cinco parras cada una. La parcela útil fueron tres parras de la hilera central.

Durante los años 1975, 1976 y 1977 no se aplicaron los tratamientos porque en este lapso el viñedo se encontraba en formación. En este tiempo sólo se aplicó el agua necesaria para la formación del cultivo. En 1978, en la etapa de "brotación a cosecha" los niveles de los tratamientos fueron 0.2, 0.3, 0.4 y 0.5 de Eo. La información que se presenta en este trabajo comprende los años 1979 y 1980.

Las mediciones hechas fueron: lámina evaporada en un tanque evaporímetro tipo A, volumen de agua regada, crecimiento durante el ciclo (madera podada), y producción de uva. Estas mediciones fueron hechas en 1978 y 1979. En 1980, debido a la ocurrencia de una helada (-6°C), que dañó gran parte de las plantas, se cuantificó el número de plantas muertas. El análisis estadístico usado para este parámetro fue χ^2 .

Para la aplicación del riego se contó con un sistema de riego por goteo, colocados dos goteros por planta separados a 50 cm del tronco cada uno. La presión promedio de trabajo en cada goteo para obtener un gasto de 5 l/h/planta fue de 1 kg/cm².

Cuadro 1. Características físico-químicas del suelo.

Profundidad (cm)	pH	MO (%)	CE (mmhos/cm)	Textura	Capacidad ¹⁾ de campo	Punto de ¹⁾ marchitez permanente
0-10	7.1	0.55	0.40	Migajón-arenoso	19.90	11.25
10-35	7.1	0.48	0.42	Migajón-arenoso	19.53	10.08
35-43	7.3	0.10	0.54	Migajón-arenoso	18.30	10.55
43-53	7.3	0.11	0.44	Migajón-arenoso	20.73	10.83
53-68	7.4	0.22	0.75	Migajón-arenoso	22.30	11.47
68-82	7.5	0.17	0.60	Migajón-arenoso	21.10	13.80
82-120	7.4	0.15	1.13	Migajón-arcillo-arenoso	21.70	12.10

¹⁾ Contenido de humedad en porcentaje en base a peso suelo seco (Pw).

RESULTADOS Y DISCUSION

Los resultados de este trabajo se presentan en dos partes. En la primera se analiza el efecto de los tratamientos sobre la producción de uva; en la segunda parte se examina la relación entre la cantidad de agua aplicada, y el número de plantas muertas por frío.

Producción de uva

En el Cuadro 2 se presenta la producción de uva (kg/planta) para 1978 y 1979. La producción fue diferente estadísticamente para la etapa "brotación-cosecha". No fue significativa para la etapa "antes de la brotación". Es conveniente señalar, para comparar las producciones entre ciclos, que la primera producción que se obtuvo fue en 1978.

La diferencia en la producción de uva, en la etapa "brotación-cosecha" fue hasta de 3.36 kg/planta; esto se atribuye a la diferencia en la cantidad de agua suministrada al cultivo.

En la Figura 1 se presentan los valores promedios de la producción por planta para cada nivel de la etapa "brotación a cosecha", y la curva de ajuste para estos datos. Esta curva se ajusta a una ecuación de tipo cuadrático.

$$Y = 4.86 + 20.12 X - 14.71 X^2$$

donde:

X = la fracción de la evapotranspiración potencial

Y = la producción por planta.

El valor máximo de esta ecuación fue de 0.68 para X, correspondiendo una producción por planta de 11.74 kg.

Cuadro 2. Producción de uva (kg/planta) por nivel de tratamientos.

1978		1979	
Nivel producción		Nivel producción	
Brotación-cosecha		Antes brotación	
0.2	2.56 (*)	0.0	10.45 (NS)
0.3	2.58	0.1	10.53
0.4	2.76	0.2	10.56
0.5	2.38	Brotación-cosecha	
		0.2	8.25 (**)
		0.4	10.73
		0.6	11.48
		0.8	11.61

(NS) No significativo.

(*) Significancia al 5% de probabilidad.

(**) Significancia al 1% de probabilidad.

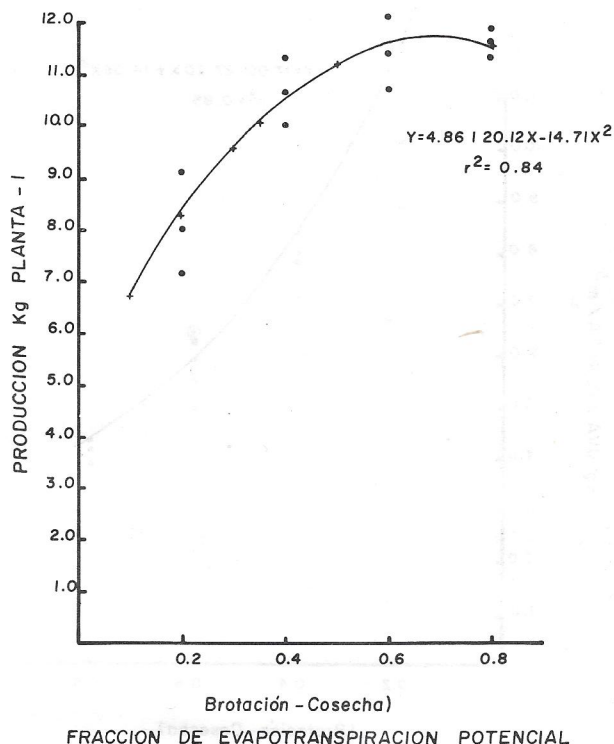


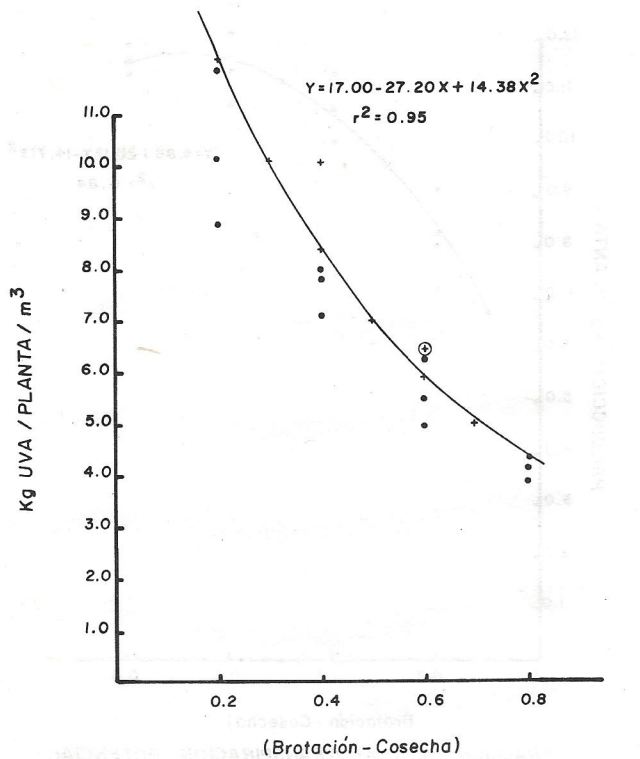
Figura 1. Relación entre la producción por planta (kg) y los tratamientos de la etapa "brotación-cosecha".

En la Figura 2 se presenta el rendimiento en kg de uva por planta, por m³ de agua aplicada. Se observa que esta eficiencia disminuye conforme aumenta el valor de la fracción de la evapotranspiración potencial.

Plantas muertas

Como consecuencia de la helada por irradiación (-6° C) que se presentó el día 14 de abril de 1980, resultaron plantas muertas. Se hizo el conteo de plantas muertas por parcela, realizándose un análisis estadístico de χ^2 . En este análisis la interacción no fue significativa, es decir, que los efectos de los niveles en la etapa vegetativa "brotación-cosecha" son independientes (no están asociados) a los niveles de la etapa "antes de brotación", por lo que se procedió a realizar el análisis por niveles dentro de cada etapa. Se observó que los niveles de la etapa "antes de brotación" no fueron significativos para el número de plantas muertas. Es decir, el hecho de regar al cultivo de la vid antes de la brotación no afectó el número de plantas muertas por la helada.

El análisis realizado para determinar el efecto de los niveles en la "brotación-cosecha" resultó significativo, por lo que regar con diferentes volúmenes de agua durante la etapa de "brotación-cosecha" tuvo efecto en el número de plantas muertas.



FRACCION DE EVAPOTRANSPIRACION POTENCIAL

Figura 2. Kilogramos de uva por planta producidos por metro cúbico de agua de riego en los tratamientos de "brotación-cosecha".

Como consecuencia de lo anterior se deduce que la protección ejercida a la vid por los volúmenes de agua aplicada fue un proceso físico al momento de ocurrir la helada. El mecanismo mediante el cual se protegió a la planta fue el siguiente: los tratamientos que recibieron mayor agua (0.6 Eo y 0.8 Eo) tuvieron mayor capacidad de absorción de energía calorífica del día anterior (Cuadro 3). De tal manera que durante el transcurso del fenómeno atmosférico existió mayor liberación de energía en los tratamientos más húmedos, protegiendo el cultivo.

Cuadro 3. Observaciones climatológicas 5 días antes de la helada.

Día	Termómetro al abrigo (°C)			Precipitación (mm)	Evaporación (mm)	Viento	Visibilidad
	ambiente	máxima	mínima				
9	7.0	26.0	5.0	0.0	7.99	S débil	0
10	10.0	26.0	5.0	0.0	8.32	SE débil	7
11	9.0	24.0	4.0	0.0	13.20	SE moderado	9
12	9.0	23.0	7.0	0.0	10.61	SW moderado	6
13	2.0	22.0	1.0	0.0	7.90	NE débil	0
14	- 1.0	19.0	- 6.0	0.0	5.08	NE débil	3
15	4.0	21.0	1.0	0.0	5.97	NE débil	9

Cuadro 4. Porcentaje de plantas muertas respecto al total.

Niveles del factor 3 meses antes de la brotación ¹⁾	Niveles del factor brotación				Promedio
	0.2	0.4	0.6	0.8	
0.0*)	77.8	60.0	44.4	33.3	53.9
0.1*)	74.4	55.6	38.9	30.0	49.7
0.2NS)	51.1	36.7	32.2	34.4	38.6
Promedio	67.8	50.8	38.5	32.6	

¹⁾ El factor fue: regar una lámina igual a una fracción de la evapotranspiración potencial (Eo).

*) Significancia al 5% de probabilidad.
NS) No significativo.

En el Cuadro 4 se puede observar el porcentaje de plantas muertas respecto al total. La protección más alta se obtuvo en los tratamientos 0.6 y 0.8 de Eo.

CONCLUSIONES

De la información obtenida en este trabajo se concluye que el factor 0.68 de la evaporación de un tanque evaporímetro tipo A es el adecuado para calcular la lámina de riego aplicada con un sistema por goteo. Este factor maximizó la producción por planta y disminuyó el número de plantas muertas como consecuencia de una helada por irradiación.

LITERATURA CITADA

- Fimbres, F. A. y R. Lagarda M. 1985. Optimización del sistema de riego por goteo en vid *Vitis vinifera* L. en la región de Caborca. *Agric. Tec. Méx.* 11(1): 51-66.
- Godoy A., C. 1978. Efecto del abatimiento de humedad en diferentes estados de desarrollo, sobre la producción y resistencia a daños por helada en la vid. Informe de Investigación. INIA-CIAN-CAELALA (en edición).
- Godoy A., C. 1985. Respuesta de la vid (*Vitis vinifera* L.) a diferentes tensiones de humedad en el suelo en dos etapas de desarrollo. *Agric. Tec. Méx.* 11(1): 39-49.
- Hepner, Y. y B. Bravdo. 1985. Effect of crop level and drip irrigation scheduling on the potassium status of Cabernet Sauvignon and Carignane vines and its influence on must and wine composition and quality. *Am. J. Enol. Vitic.* 36(2): 140-147.
- Hepner, Y., B. Bravdo, C. Loinger, S. Cohen y H. Taberman. 1985. Effect of drip irrigation schedules on growth, yield, must composition and wine quality of Cabernet Sauvignon. *Am. J. Enol. Vitic.* 36(1): 77-85.
- Keller, J. y D. Karmeli. 1974. Trickle irrigation design. Rainbird Sprinkler Manufacturing Corp., Glendora, Calif.
- McCarthy, M.G. 1981. Irrigation of grapevines with sewage effluent I. Effects on yield and petiole composition. *Am. J. Enol. Vitic.* 32(3): 189-195.

EVALUACION DE LAS RESERVAS DE SALES EN SUELOS SALINOS EN EXTRACTO DE SATURACION Y EN RELACION SUELO-AGUA 1:5 ¹⁾

Ramírez Ayala, Carlos ²⁾
Ortega Escobar, Manuel ²⁾
Vázquez Arceo, Esperanza ²⁾

RESUMEN

La evaluación de las reservas de sales en suelos salinos se realiza preparando una relación determinada de suelo-agua, y obteniendo un extracto en el cual se determinan las sales. Existen varias relaciones utilizadas por diferentes escuelas pedológicas, cuyos enfoques y objetivos permiten la utilización de una u otra relación.

El objetivo es analizar los resultados obtenidos en el extracto de saturación y en relación 1:5 de las investigaciones realizadas en el Area de Manejo de Suelos y Aguas Salinas del Centro de Hidrociencias, para mostrar las posibilidades de uso de éstas de acuerdo a los objetivos, condiciones de manejo y suelos.

De los suelos analizados se concluye que la relación 1:5 puede utilizarse para evaluar la reserva de sales en suelos fuertemente salinizados, en experimentos en que hay poca disponibilidad de muestra, en suelos sódicos, o bien en suelos que presentan disminuciones en volumen cuando se secan al aire, y en trabajos en donde se quiera cuantificar cambios por un tratamiento.

En el extracto de saturación se pueden evaluar las sales, cuando su uso sea para determinar las condiciones de crecimiento de los cultivos, aun cuando podrían obtenerse relaciones en las dos relaciones para evitar el costo y trabajo del método del extracto de saturación.

Se encontraron relaciones entre las sales evaluadas en 1:5 y extracto de saturación, en las cuales se observan cambios originados por el tipo de suelo y de salinidad presente.

ABSTRACT

The objective of this work was to compare the results of salt contents as determined in soil extracts from saturated soil samples or mixtures with a soil-water ratio 1:5. From the results we concluded that the soil-water ratio 1:5 could be used to evaluate the salt reserves in strongly saline soils; in experiments where the available soil sample is very small; in sodic soils or in soils which shrink upon drying, and in experiments where comparisons are only made within treatments.

Salt determinations in saturation extracts should be performed when the objective is to relate them to crop growth. The establishment of relationships between these two methods is advisable in order to reduce the costs involved. The relationships of this type, studied for some soils, were found to vary with soil type and salt content.

INTRODUCCION

Los suelos salinos se encuentran diseminados en grandes áreas del mundo y en México, sobre todo en sitios importantes de la producción de alimentos de los países, que son las áreas bajo riego. Este problema se acentúa con el aumento de la población, ya que es necesario utilizar aguas de baja calidad para la agricultura, incrementando la salinización de los suelos.

Un aspecto fundamental es la evaluación de las reservas de sales de un suelo salino bajo

producción de cultivos o recuperación, ya que esto permite considerar las medidas de mejoramiento para el desarrollo de los cultivos con la menor disminución de la producción.

Esta se realiza aplicando cierto volumen de agua destilada a una muestra de suelo, obteniéndose un extracto en el cual se determinan las sales. La relación suelo-agua utilizada varía de acuerdo a la escuela pedológica y respecto a la finalidad del estudio, por lo que tienen valores desde 1:0.2-0.6, 1:1, 1:2; 1:2.5, 1:5 hasta 1:40 ó valores mayores.

¹⁾ Ponencia presentada en el XVIII Congreso Nacional de la SMCS.

²⁾ Centro de Hidrociencias, Colegio de Postgraduados, Chapingo, Méx.

Sin embargo, la más conocida es la relación 1:0.2-0.6, llamada extracto de saturación propuesta por investigadores norteamericanos, y la 1:5 por los soviéticos.

El objetivo de este trabajo es analizar los resultados de investigación de ambas relaciones realizadas en el Area de Manejo de Suelos y Aguas Salinas del Centro de Hidrociencias en el Colegio de Postgraduados, Chapingo, Méx.

REVISION DE LITERATURA

La pasta saturada se prepara, agregando agua destilada a la muestra de suelo y agitando con una espátula. De vez en cuando, la muestra debe consolidarse golpeando el recipiente con cuidado sobre la mesa de trabajo. Al saturar se la pasta, brilla por la reflexión de la luz, y fluye ligeramente si se inclina el recipiente y la pasta se desliza fácilmente de la espátula, excepto en los suelos con alto contenido de arcilla.

Después de la mezcla se debe dejar reposar la muestra durante una hora y comprobar el criterio de saturación.

La pasta no debe acumular agua en la superficie, perder su brillo o endurecerse durante el reposo. Si ha perdido brillo o se ha endurecido, es necesario mezclar nuevamente agregando agua.

Esta relación suelo-agua se utiliza cuando se investiga la salinidad de un suelo con relación al desarrollo de las plantas; se recomienda usar la conductividad eléctrica como un medio para estimar la salinidad. La ventaja especial de este método es el hecho de que el porcentaje de saturación está relacionado directamente con los distintos valores de la humedad de campo (Richards, 1954).

Entre las desventajas del método es el uso necesario de una bomba de vacío para obtener el extracto (James et al., 1982), o bien como es señalado por Hoog y Henry (1984) existen problemas para que el método sea reproducible, ya que hay variabilidad para determinar el punto final de saturación; además mencionan las dificultades de preparar la pasta en trabajos de rutina en el campo donde se trabaja con equipo portátil.

Respecto a variables como el costo, es un método caro comparado con relaciones suelo-agua mayores, lo que permite analizar una cantidad pequeña de muestras (Mackenzie et al., 1983). Es importante señalar la cantidad de suelo requerido para obtener suficiente extracto por lo que puede limitar su uso cuando la cantidad de muestra disponible es limitada, o bien el extracto obtenido se reduce por problemas de sodicidad del suelo, ocasionando la preparación de la pasta varias veces, lo cual aumenta la cantidad de suelo necesario (Vázquez, 1984).

Considerando los problemas de la pasta de saturación de acuerdo al propósito de la investigación, se usan relaciones con cantidades grandes de agua comparadas con la de saturación.

De acuerdo con Richards (1954), estas relaciones presentan la facilidad de extracción, y pueden utilizarse con el propósito de seguir los cambios en el contenido de sales en el tiempo y el espacio o por un tratamiento probado, sin el desarrollo de las plantas.

El problema de las relaciones suelo-agua mayores es que no se pueden realizar inferencias sobre la cantidad de sales bajo condiciones del desarrollo de las plantas (James et al., 1982).

Sin embargo, el método 1:5 es menos laborioso, requiriendo menor cantidad de mano de obra y equipo, puede utilizarse bajo condiciones de campo y en investigaciones en las que la cantidad de muestra es limitada.

Como ya se mencionó anteriormente, un uso más generalizado es el determinar las sales en una relación suelo-agua mayor, y obtener funciones que los relacionen con el extracto de saturación. Aun cuando es importante señalar que para autores como Selyakov (1967) el método 1:5 no puede ser usado para determinación de reservas totales en suelos altamente salinizados, ya que solubiliza una cantidad determinada de sales pero no el total.

En base al análisis bibliográfico se concluye que el uso de cualquier relación estará de acuerdo al objetivo de la investigación, las condiciones de equipo y disponibilidad de suelo, o bien a condiciones químicas de los suelos bajo estudio.

MATERIALES Y METODOS

En el Area de Manejo de Suelos y Aguas Salinas del Centro de Hidrociencias, desde hace cinco años, se realizan investigaciones en dos líneas generales que son: el lavado de suelos salinos y la recuperación de suelos y aguas sódicas; con cada una de éstas se realizan trabajos en los cuales la evaluación de las reservas de sales se mide en el extracto obtenido en la relación 1:5. Es importante señalar que en las investigaciones de Montaña (1982), Ramírez (1982), Nunez (1984), Caraveo (1984) y Huez (1985) la evaluación se realizó en una relación suelo-agua 1:5 no así en las de Del Cristo (1982), Cervantes (1983), García (1984) y Del Valle (1983), en los cuales además se utilizó para las mismas muestras el extracto de saturación y otras relaciones suelo-agua. En una investigación realizada por Vázquez (1984) el objetivo principal fue la evaluación y correlación de las reservas determinadas en la relación suelo-agua, saturación y 1:5.

El análisis en este trabajo comprende aquellas investigaciones que cuentan con datos en las dos relaciones suelo-agua mencionadas, además se correlacionan los resultados aun cuando, por el objetivo del trabajo, su autor no lo realizó.

En el Cuadro 1 se observa los sitios de muestreo, el número de muestras, el autor del trabajo y las determinaciones en las dos relaciones.

Cuadro 1. Suelos utilizados por diferentes autores para la evaluación de la reserva de sales en saturación y 1:5.

Autor	Origen de las muestras	No. de muestras	Determinaciones
Vázquez (1984)	1. Obrajuelo, Gto.	14	pH, CE, RS, Ca, Mg, Na, K, CO ₃ , HCO ₃ , Cl, SO ₄
	2. Montecillos, Texcoco	14	
	3. Monterrey, Nuevo León	20	
	4. El Carmen, Puebla	6	
	5. Exp. de Nunez (1984)	300	
Cervantes (1983)	a) Suelo salino	154	Ca, Mg, Na, CO ₃ , HCO ₃ , Cl, SO ₄
	b) Suelo salino-sódico del Valle de Mexicali, B.C.		
Del Cristo (1982) ¹⁾	1. Salinidad clorhídrica	500	RSE, RSC, CE
	2. Clorhídrica sulfática		
	3. Sulfática		
	4. Sódico-sulfática		
García (1984)	a) Suelo sódico del Valle de Mexicali, B.C.	104	Ca, Mg, Na, CO ₃ , HCO ₃ , Cl, SO ₄
Ramírez (1985b)	a) Salinas, San Luis Potosí	116	pH, CE, Ca, Mg, Na, K, CO ₃ , HCO ₃ , Cl, SO ₄

1) El experimento consistió en salinidades inducidas en tres texturas de suelo.

Del Cuadro 1 se deduce, que aún la variabilidad de los suelos analizados no es suficiente para obtener criterios generales de análisis, pero permite mencionar algunas posibilidades de uso de las relaciones.

En la discusión del trabajo se considera la evaluación total de sales y después, en forma iónica, se mencionan las particularidades de los estudios o de los suelos que limitan el uso de una u otra relación.

RESULTADOS Y DISCUSION

Sales Totales

La evaluación de las reservas de sales de un suelo se realiza considerando diferentes métodos de determinación, como son: residuo seco evaporado (RSE) que consiste en evaporar una cantidad del extracto y expresar el contenido de gramos por 100 g de suelo, o bien el residuo seco calcinado (RS) en el que la alícuota se calcina a 600°C para eliminar la materia orgánica, expresándose en las unidades anteriores.

Una determinación que es más rápida que las anteriores y que permite estimar la cantidad de sales, es la conductividad eléctrica (CE), expresada en mmhos/cm a 25°C (dS/m).

El primer trabajo desarrollado fue de Del Cristo (1982) en el estudio de las láminas de lavado en suelos salinos. En forma alternada estudió el efecto de la relación suelo-agua para el extracto en cuatro salinidades inducidas y tres texturas de suelo. Los resultados demuestran que en extracto de saturación se obtiene una cantidad de sales mucho menor que en relación 1:5 en la cual el valor obtenido presenta poco cambio con respecto a relaciones más altas (Figura 1).

Esto es de importancia para el caso de la recuperación de suelos salinos mediante lavados, ya que la lámina aplicada es función de la salinidad evaluada en una u otra relación.

Cuando en los suelos salinizados se aplicó agua para lavarse, se encontró que las sales extraídas en los efluentes, ya que el experimento fue en columnas de suelo, fueron mayores que las evaluadas en saturación y aún que en relación 1:5. Esto fue corroborado por Cervantes (1983) en un estudio en monolitos inalterados de suelo, ya que la salinidad extraída en los efluentes en los suelos salinos en estudio en relación 1:0.2-0.6 fue hasta de un 305% más de la evaluada como inicial, y se extrajo aún cantidades mayores que en 1:5 (Figuras 2 y 3).

Lo anterior demuestra que en suelos salinos que se recuperan mediante lavados, es necesario considerar un método de extracción suelo-agua mayor que extracto de saturación, ya que como lo menciona Selyakov (1967), la relación 1:5 no puede usarse para determinar las reservas totales de los suelos fuertemente salinizados, esto es sin considerar el desarrollo de los cultivos; aun cuando en países como la Unión Soviética y Cuba la relación 1:5 se utiliza para evaluar el desarrollo de cultivos.

Es importante señalar que respecto a residuo seco (%) podrían obtenerse relaciones entre ambos métodos, como los obtenidos por Vázquez (1984), cuyos resultados son:

$$RS_S = 0.360 RS_5 \quad R^2 = 0.84 \quad CV = 43.37 \quad (1)$$

$$RS_S = 1.005 RS_5 \quad R^2 = 0.90 \quad CV = 41.77 \quad (2)$$

$$RS_S = 0.372 RS_5 \quad R^2 = 0.80 \quad CV = 50.57 \quad (3)$$

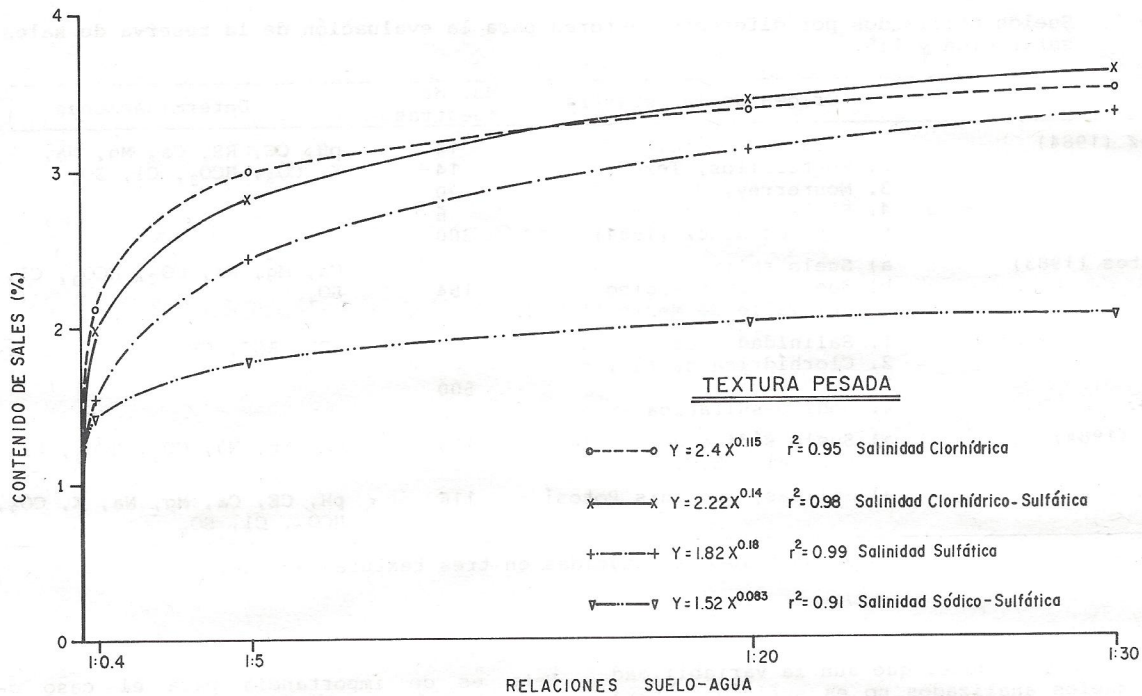


Figura 1. Curso de extracción de sales solubles en función de las relaciones suelo-agua.

En los datos correspondientes al grupo analizado por el investigador anterior, se observa que las relaciones presentan coeficientes diferentes de acuerdo al conjunto analizado, pero al final existe la posibilidad de relacionar los resultados sobre todo cuando la parte económica, o el suelo, no permite el uso de una u otra relación suelo-agua. De las

ecuaciones se deduce que la relación 1:5 obtiene mayor cantidad de sales en términos generales, aunque en la ecuación (2) el coeficiente es la unidad; esto se debe a que la cantidad de sales es pequeña por lo que la cantidad obtenida es igual con ambas relaciones.

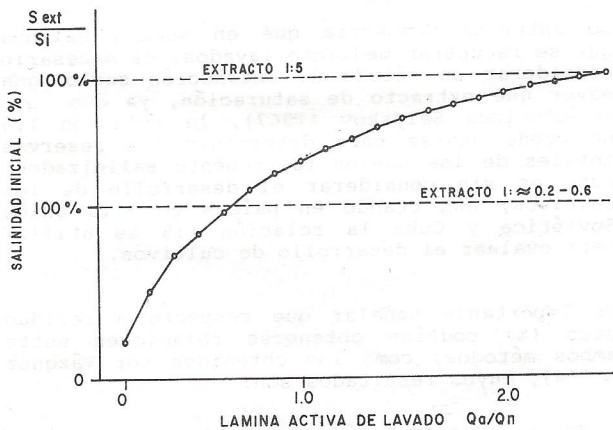


Figura 2. Sales extraídas del suelo salino, a través del proceso de lixiviación en columna de 0.8 m de espesor.

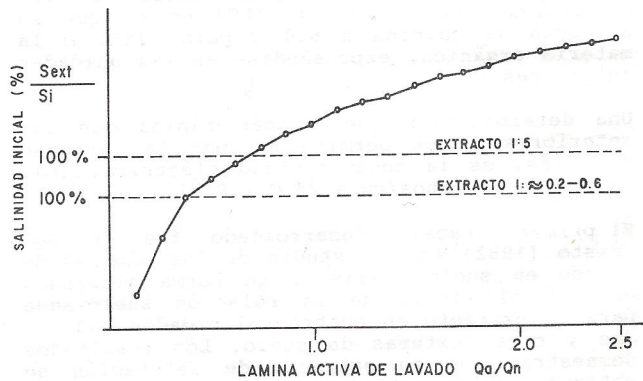


Figura 3. Sales extraídas del suelo salino, a través del proceso de lixiviación en columna de 0.5 m de espesor.

La conductividad eléctrica (CE) disminuye cuando se incrementa la cantidad de agua en la relación, esto es por el proceso de dilución. Lo anterior origina que con los valores de CE se considere que la salinidad es baja respecto a saturación.

Las funciones obtenidas por Vázquez (1984) para calcular la CE en saturación en función de la relación 1:5 son:

$$CE_s = 2.28 CE_5 \quad R^2 = 0.90 \quad CV = 33.99 \quad (4)$$

$$CE_s = 2.65 CE_5 \quad R^2 = 0.67 \quad CV = 61.88 \quad (5)$$

$$CE_s = 2.31 CE_5 \quad R^2 = 0.87 \quad CV = 38.73 \quad (6)$$

Se observa que los coeficientes son parecidos para los suelos utilizados por el investigador; sólo en algunos suelos tienen menor ajuste que otros. Utilizando datos de suelos de San Luis Potosí (Ramírez, 1985b), el valor de la función es:

$$CE_s = 4.68 CE_5 \quad R^2 = 0.90 \quad CV = 35.9 \quad (7)$$

Con esta función se tiene un coeficiente mayor que en las anteriores, esto se debe quizás al tipo de material y sales presentes.

La conductividad eléctrica en la relación 1:5 es menor que en saturación, por la cantidad de agua aplicada, lo que la convierte a esta última más representativa de la condición de campo. Sin embargo, en suelos cuyo volumen disminuye al secarse, como los del Lago de Texcoco, por su cantidad significativa de amorfos (Del Valle, 1983), esto origina que las características de retención de humedad cambian en el proceso de secado, por lo que la relación 1:5 sería más representativa de las condiciones de campo (Ramírez, 1985a).

En el Cuadro 2 se presentan los valores de la conductividad eléctrica en un perfil de suelo, en primer lugar se encuentra la pasta saturada sin secar el suelo, después preparada con el proceso de secado y la relación 1:5. Se observa que los valores mayores corresponden cuando el suelo se seca y después se prepara la pasta saturada, y que la relación 1:5 y saturación sin el proceso de secado son iguales, exceptuando la profundidad 40-60 cm que corresponde a un suelo sin amorfos, en donde el suelo seco o preparado en húmedo presenta valores semejantes. En segundo término, en este cuadro se presentan los valores de la humedad a saturación con y sin el proceso de secado, y son estos valores que permiten explicar las diferencias encontradas que permiten señalar que la relación 1:5 es más representativa de la condición de campo o bien preparar la saturación sin secar el suelo.

Salinidad cualitativa

En el caso de los iones en forma separada se analizan las relaciones entre saturación, cuyas unidades son meq/100 g de suelo, se adiciona el valor de pH y los diferentes suelos utilizados (Cuadro 3).

Cuadro 2. Conductividad eléctrica mmhos/cm (dS/m) en suelos del Lago de Texcoco en húmedo, seco y 1:5.

Profundidad (cm)	Conductividad eléctrica			%H a saturación	
	Húmedo	Seco	1:5	Húmedo	Seco
20-40	15.26	31.85	5.13	145.2	75.25
40-60	10.82	12.00	1.65	49.3	46.17
60-80	12.89	32.86	6.99	345.3	83.65
80-100	13.50	36.37	9.08	386.4	92.55
100-120	13.29	51.00	14.08	624.2	115.40

En el análisis se muestran los iones que presentan funciones definidas en ambas relaciones, ya que los demás cationes o aniones no se comportan de forma definida, es decir, existen diferencias tanto en suelos, como salinidades y tipo de sales predominantes presentes. A bajas concentraciones se obtienen valores similares de Ca, Mg y SO_4 en las dos relaciones, pero a medida que aumenta la concentración se extraen cantidades mayores en relación 1:5, lo cual se explica por la solubilidad de las sales que forman estos iones.

En el caso del pH el comportamiento en saturación 1:5 es igual, y presenta coeficientes cercanos a la unidad y de variación pequeña, por lo que existe poca influencia de la relación suelo-agua utilizada en esta variable.

Los iones Na, K y Cl presentan algunas variaciones en los coeficientes, pero se pueden relacionar los valores de las dos formas de valuar la reserva de sales.

Después de observar los datos obtenidos en forma general, se puede señalar que es posible evaluar la reserva de sales de un suelo en las dos relaciones analizadas, y que para algunos iones se encuentran funciones que permitan usar una u otra relación de acuerdo con el tipo de estudio, cantidad de muestras a analizar, disponibilidad económica, disponibilidad de equipo, disponibilidad de muestra de suelo, y representatividad de las condiciones que se quieran evaluar.

CONCLUSIONES

- En el caso de la evaluación de sales en suelos salinos, cuya finalidad es la recuperación, la mejor forma de determinarlas es la relación 1:5, ya que permite obtener una idea más representativa de la cantidad total de sales.
- Cuando la cantidad de muestra no es suficiente para preparar el extracto de saturación, se puede realizar la evaluación en relación 1:5, y si el objetivo es estudiar el efecto de las sales sobre los cultivos, realizar correlaciones entre ambos métodos.

Cuadro 3. Regresiones obtenidas en relación saturación y 1:5 para las variables de pH, Na, K, Cl.

Variable	Datos de exp. de mejoramiento	Obrajuelo, Montecillos, Monterrey, el Carmen	Datos totales	Datos de Mexicali	Datos de Mexicali	Datos de San Luis Potosí
pH	$pH_S = 1.06$ pH_5 $R^2=0.99$ $CV=4.23$	$pH_S = 0.92$ pH_5 $R^2=0.99$ $CV=5.46$	$pH_S = 1.01$ pH_5 $R^2=0.99$ $CV=7.63$	-	-	$pH_S = 1.00$ pH_5 $R^2=0.99$ $CV=7.39$
Na	$Na_S = 0.5$ Na_5 $R^2=0.94$ $CV=29.59$	$Na_S = 0.72$ Na_5 $R^2=0.95$ $CV=36.42$	$Na_S = 0.53$ Na_5 $R^2=0.92$ $CV=34.68$	$Na_S = 0.69$ Na_5 $R^2=0.98$ $CV=23.0$	$Na_S = 0.51$ Na_5 $R^2=0.98$ $CV=13.28$	$Na_S = 0.75$ Na_5 $R^2=0.93$ $CV=39.87$
K	$K_S = 0.25$ K_5 $R^2=0.89$ $CV=34.90$	$K_S = 0.44$ K_5 $R^2=0.80$ $CV=64.54$	$K_S = 0.28$ K_5 $R^2=0.82$ $CV=48.42$	-	-	$K_S = 0.35$ K_5 $R^2=0.73$ $CV=69.00$
Cl	$Cl_S = 0.82$ Cl_5 $R^2=0.83$ $CV=65.26$	$Cl_S = 1.03$ Cl_5 $R^2=0.99$ $CV=21.61$	$Cl_S = 0.92$ Cl_5 $R^2=0.90$ $CV=54.96$	$Cl_S = 0.73$ Cl_5 $R^2=0.98$ $CV=29.0$	$Cl_S = 0.79$ Cl_5 $R^2=0.99$ $CV=11.77$	$Cl_S = 0.67$ Cl_5 $R^2=0.94$ $CV=33.10$
Autor	Vázquez (1984) Nunez (1984)	Vázquez (1984)	-	Cervantes (1983)	García (1984)	Ramírez (1985b)

R^2 = Coeficiente de determinación.
CV = Coeficiente de variación.

Lo anterior se puede extrapolar para los suelos sódicos, donde la cantidad de extracto a saturación requiere grandes cantidades de suelo, debido a la dispersión de éste.
- La determinación del extracto de saturación puede utilizarse para el desarrollo de culti-

vos, aun cuando su uso no puede ser general para todos los suelos.

- En determinados iones K, Cl y Na, es posible encontrar relaciones, entre las dos formas, no así para Ca, Mg, CO, y SO en las que las dependencias son más complejas.

LITERATURA CITADA

- Caraveo L. F. J. 1984. Efectos de la aplicación de ácido sulfúrico en diferentes concentraciones (1, 3, 5 y 10%) sobre los procesos de mejoramiento de un suelo salino-sódico del predio Montecillos. Tesis Profesional. Departamento de Suelos. Universidad Autónoma Chapingo, México.
- Cervantes R. M. 1983. La lixiviación de sales en suelos salinos y salino-sódicos del Valle de Mexicali, durante un proceso de lavado. Tesis de Maestría en Ciencias. Centro de Hidrociencias, Colegio de Postgraduados, Chapingo, México.
- Del Cristo G. G. R. 1982. Establecimiento de relaciones funcionales entre láminas de lavado, sales desplazadas y sales residuales en suelos salinos. Tesis de Maestría en Ciencias. Centro de Hidrociencias, Colegio de Postgraduados, Chapingo, México.
- Del Valle C. H. F. 1983. Los procesos de acumulación de sales intemperismo en cubetas Lacustres, en una zona de transición del Ex-Lago de Texcoco. Tesis de Maestría en Ciencias. Centro de Edafología, Colegio de Postgraduados, Chapingo, México.
- García S. G. 1984. Lixiviación de sales en un suelo sódico durante un proceso de lavado. Tesis Profesional. Escuela Superior de Ciencias Agrícolas. Universidad Autónoma de Baja California, Mexicali, México.
- Hoog T. J. y J. L. Henry. 1984. Comparison of 1:1 and 1:2 suspensions and extracts with the saturation extract in estimating salinity in Saskatchewan Soil. Can. J. Soil Sci. 64: 699-704.
- Huez L. M. A. 1985. Caracterización de algunas propiedades físico-químicas de los suelos y espesores subyacentes del predio Montecillos. Tesis de Maestría en Ciencias. Centro de Hidrociencias, Colegio de Postgraduados, Chapingo, México.
- James D. W., R. J. Hanks y D. W. Jurinak. 1982. Modern Irrigated Soil. John Wiley & Sons. pp 142-146.
- Mackenzie R. C., C.H. Sprout y N. F. Clark. 1983. The relationship of the yield of irrigated barley to soil salinity as measured by several methods. Can. J. Soil Sci. 63: 519-528.

- Montaño G. S. 1982. Estudio de tres yesos agrícolas y el yeso puro bajo dos formas-de aplicación (incorporado al suelo y solubilizado en agua), en el mejoramiento de la capa arable de un suelo sódico. Tesis de Maestría en Ciencias. Centro de Hidrociencias, Colegio de Postgraduados, Chapingo, México.
- Nunez F. J. 1984. El mejoramiento de los suelos sódicos y aguas bicarbonatadas, utilizando yeso agrícola en diferentes láminas-de aplicación. Tesis de Maestría en Ciencias. Centro de Hidrociencias, Colegio de Postgraduados, Chapingo, México.
- Ramírez A. C. 1985a. Comportamiento de la conductividad eléctrica y parámetros físicos y químicos en el "Jaboncillo" de Montecillos. Reporte técnico. Area de Manejo de Suelos-y Aguas Salinas, Centro de Hidrociencias. Mimeógrafo, pp 35.
- Ramírez A. C. 1985b. La salinidad de suelos y aguas en el Area de Riego "El Barril"-en Salinas, San Luis Potosí. Area de Manejo-de Suelos y Aguas Salinas, Centro de Hidrociencias (en prensa).
- Ramírez L. E. 1982. Estudio de tres fuentes naturales de yesos agrícolas en la recuperación de suelos salino-sódicos bajo dos procedimientos de aplicación (solubilizados en agua e incorporados al suelo). Tesis Profesional. Universidad Autónoma Chapingo.
- Richards L. A. 1954. Diagnóstico y rehabilitación de suelos salinos y sódicos. Manual-60. Departamento de Agricultura de los Estados Unidos de América. Ed. Limusa, México. 1974. pp 9-16.
- Selyakov S. N. 1967. Determining water soluble salt reserves in salinized soils. Sov. Soil Sci. 7: 957-962.
- Vázquez A. E. 1984. Evaluación de la reserva de sales en los suelos salinos. Tesis Profesional. Facultad de Estudios Superiores "Cuautitlán", Universidad Nacional Autónoma de México.

donde: S_0 = contenido de sales en el suelo antes de lavar; S_1 = contenido de sales en el suelo después de lavar; Q = cantidad de agua aplicada; Q_0 = cantidad de agua aplicada para lavar la muestra; Q_1 = cantidad de agua aplicada para lavar la muestra después de lavar.

En el presente estudio se han utilizado las fórmulas de Panin, Volobuyev, Rhoades y Sejas para describir la dinámica del proceso de lavado de suelos salinos.

DESCRIPCIÓN DE LAS REGULARIDADES DEL PROCESO DE LAVADO DE LOS SUELOS SALINOS ¹⁾

- Díaz Espino, Luis Febronio ²⁾
- Ortega Escobar, Manuel ²⁾
- Ramírez Ayala, Carlos ²⁾
- Rone Puello, José Luis ²⁾

RESUMEN

En el Colegio de Postgraduados, en Chapingo, México, fue desarrollada una investigación de lavado de suelos salinos de naturaleza clorhídrica, con el propósito de describir la dinámica del proceso de lavado con respecto a su relación entre sales desplazadas y láminas aplicadas mediante el uso de los cursos de lixiviación además de establecer comparaciones entre los valores reales aplicados de la lámina activa de lavado, con los que se obtienen utilizando las fórmulas de Panin, Volobuyev, Rhoades y Sejas.

Se concluye principalmente que: (1) la máxima cantidad de sales (80-90%) es lixiviada con los primeros volúmenes de lavado (0.25Π-0.50Π); (2) el desplazamiento de las sales solubles en los suelos de cualquier espesor, es descrito correctamente a través de la relación funcional $\frac{S}{S_0} = f\left(\frac{Q_0}{Q}\right)$; y (3) en la síntesis comparativa en los esquemas de cálculo de la lámina de lavado, se observó que los valores variaron de acuerdo a la siguiente secuencia: experimental < Volobuyev < Panin < Sejas < Rhoades.

ABSTRACT

In the Colegio de Postgraduados at Chapingo, Mexico, a chloride salt soils leaching research was carried out. The main purpose was to describe the leaching process dynamic in salt soils with regard to salt movement in soil profile and depth water applied using percolation curves. In addition, to compare the real values of active depth water against the amount obtained with the Panin, Volobuyev, Rhoades and Sejas formulae.

From this experimental work, it was concluded that: (1) the maximum salt displacement in soil (80-90%) is gained out with the first leaching water volumes (0.25Π-0.50Π); (2) the salt displacement in soils is well described by the math function $\frac{S}{S_0} = f\left(\frac{Q_0}{Q}\right)$, in addition the percolation curves can be adjusted to this math expression; and (3) from the comparative synthesis in these leaching salt soils formulae it was observed that the depth water values varied in the following order: experimental < Volobuyev < Panin < Sejas < Rhoades.

INTRODUCCION

El método fundamental de la incorporación de los suelos salinos a la producción agrícola que incluye aquellos suelos salinizados por uso agrícola es el lavado. Aunque en algunos casos el mejoramiento implica recuperación química, es necesario el lavado como un medio de eliminación de las cantidades excedentes de sales nocivas para las plantas, y su posterior desalojo de las aguas de filtración y mediante prácticas de drenaje.

los suelos salinizados; (b) describir la dinámica del proceso de lavado de los suelos salinos, en lo que se refiere a su relación entre: sales desplazadas con respecto a volúmenes aplicados y/o láminas; (c) describir la distribución de las sales en un perfil después del lavado y evaluar los cambios físico-químicos ocurridos después del lavado en los perfiles de suelo; y (d) analizar, desde un ángulo comparativo, los valores reales aplicados de la lámina de lavado con los valores que se obtienen, utilizando los mismos parámetros al hacer uso de la fórmula de diferentes autores.

Los objetivos del presente trabajo son: (a) evaluar las reservas iniciales de sales en

1) Ponencia presentada en el XIX Congreso Nacional de la SMCS.
 2) Centro de Hidrociencias, Colegio de Postgraduados, Chapingo, Méx.

REVISION DE LITERATURA

Kovda (1980) en su revisión afirma que en la migración de los compuestos influyen los procesos de solubilidad, extracción de iones de los minerales durante el intemperismo y los procesos de precipitación y acumulación de éstos en determinadas condiciones físico-geográficas. Este autor relaciona la secuencia de extracción de los iones, rapidez de su migración y capacidad de algunos de ellos en acumularse en las depresiones sin escurrimiento en forma de masas salinas con los valores de los coeficientes energéticos de los iones (KEI), con los radios iónicos, con la valencia y la dureza de las mallas cristalinas.

Las tres clasificaciones más importantes de los suelos salinos son la Rusa, la Francesa y la Americana; en esta última se utilizan fundamentalmente los parámetros: conductividad eléctrica (CE) y el porcentaje de sodio intercambiable del extracto de saturación (PSI). La clasificación francesa subdivide a los suelos de acuerdo a criterios químicos, morfológicos y estructurales del suelo. La clasificación rusa clasifica a los suelos según las distintas provincias geoquímicas, además de establecer gradaciones porcentuales sobre contenidos de sales.

Las sales más solubles (CaCl_2 , MgCl_2 , Na_2CO_3 y NaCl) son removidas prácticamente por completo de los suelos por los extractos acuosos. Las sales de menor solubilidad como el $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ y NaHCO_3 pasan de una manera incompleta a los extractos acuosos, cuando éstos se encuentran de manera considerable en los suelos. Las sales como el $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$, $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$, CaCO_3 y el MgCO_3 , se disuelven en pequeñas cantidades.

Según Del Cristo (1982) y Selyakov (1967), las sales extraídas dependen de la relación suelo-agua utilizada y de los diferentes compuestos salinos presentes, incrementándose a medida que aumenta la relación suelo-agua.

Para determinar los volúmenes de las láminas de lavado, se han propuesto una serie de fórmulas de cálculo y escalas. Estas fórmulas y escalas poseen un carácter general y están diseñadas para determinar láminas de lavado para cualesquiera de las condiciones naturales de los suelos salinos.

Fórmula de Volobuyev (1959)

$$N = K \log\left(\frac{S_i}{S_o}\right)^\alpha$$

Fórmula de Panin (1968)

$$Q_a = \Pi_{cc} K \ln\left(\frac{S_i}{S_o}\right)$$

Fórmula de Safonov et al. (1976)

$$Q_a = 28.6 \Pi_{cs} \left(\frac{S_i - S_o}{S_i}\right)^{2.7}$$

Fórmula de Rhoades (1974)

$$Dlw/Ds = \frac{CE_i}{5(CE_f)} + 0.15$$

Fórmula de Sejas (1978)

$$L = 9.0 (p)^{0.75} \times \left(\frac{70 - CE_r}{CE_i - CE_f}\right)^{0.30} \log\left(\frac{CE_i}{CE_f}\right)$$

donde:

- N = norma de lavado, m^3ha^{-1}
- K de Volobuyev = 10,000 cuando $N = \text{m}^3\text{ha}^{-1}$
- K de Panin = coeficiente que expresa la dependencia de lixiviar sales de los suelos con respecto a la composición química de las sales
- Π_{cc} = contenido de humedad a capacidad de campo, m^3ha^{-1}
- Π_{cs} = contenido de humedad a saturación, m^3ha^{-1}
- S_i = contenido inicial de sales del espesor del suelo considerado, expresado en %, o ton/ha^{-1}
- S_o = contenido final de sales del espesor del suelo considerado, expresado en %, o ton/ha^{-1}
- Dlw/Ds = lámina de lavado por profundidad de lavado
- CE_i = salinidad inicial en el suelo antes del lavado, mmhos/cm^{-1}
- CE_f = salinidad final en el suelo después del lavado, mmhos/cm^{-1}
- CE_r = conductividad eléctrica en el agua de riego, mmhos/cm^{-1} .

MATERIALES Y METODOS

La presente investigación se realizó en el área de la Estación Lisimétrica y el Laboratorio de Relaciones Suelo-Agua-Planta del Centro de Hidrociencias, Colegio de Postgraduados, Chapingo, Méx. Las muestras del suelo utilizado para la investigación se obtuvieron del ejido Purificación, Texcoco, México. Los porcentajes de sus agregados son: 26 de arena, 30 de limo, y 44 de arcilla (suelo arcilloso). La profundidad de muestreo fue de 0 - 30 cm.

Una vez que el suelo fue secado al aire libre y tamizado a un diámetro de 1 mm^2 , se procedió a parafinar columnas de PVC, cuyo diámetro promedio interior fue de 18.5 cm y con longitud de 70 y 125 cm.

Posteriormente a esta operación de parafinado, se procedió a colocar en su parte inferior una malla plástica de 1 mm^2 y papel filtro con el fin de evitar la salida del suelo al momento de su empacado, haciendo esta última operación por estratos de 5 cm de espesor, a una densidad = 1.3 g/cm^3 y compactando el suelo a esta densidad con pisones metálicos.

Las columnas fueron montadas sobre mesas de madera con seis perforaciones para acomodar embudos de plástico de 25 cm de diámetro, cuya finalidad fue la de soportar a la columna y conducir al efluente para su colección en matraces de 500 ml. Estas mesas tuvieron acopladas una estructura metálica que sirve para fijar y mantener la verticalidad de las columnas y sostener las probetas tipo Mariotte que contienen la solución salina y el agua para el lavado.

La salinización del suelo original consistió en aplicar la solución correspondiente a cada columna de suelo, manteniendo una carga constante de 10 cm, hasta el momento en que salió una cantidad de efluente aproximadamente igual a 100 ml. En este momento se consideró que el suelo estaba en equilibrio con la solución aplicada, y se procedió a desmontar la columna, secando el suelo al aire, tamizarlo y homogeneizarlo, para después realizar los análisis químicos correspondientes, antes de iniciar el proceso de lixiviación.

Los tratamientos fueron salinidad clorhídrica absoluta y las concentraciones 0.5%, 1%, 2%, 3%, 4%, y 5%.

Cada concentración se estudió utilizando cuatro columnas de suelo de 50 y 100 cm, las que se lavaron de la siguiente forma: la primera columna se lavó hasta que la concentración residual alcanzó un nivel de 10% o cuando la

$$\text{relación } \frac{S_i - \text{Sext}}{S_i} = 100$$

donde:

S_i = sales extraídas en cualquier relación suelo-agua
 Sext = sales extraídas en el efluente

se volvió negativa con respecto a la salinidad inicial evaluada en la relación suelo-agua 1: $\approx 0.2-0.6$; otras dos con el mismo nivel pero evaluadas en la relación 1:5 y 1:10, y la última se lavó continuamente hasta el final del experimento. Por otra parte, y con el fin de determinar algunas de las particularidades del proceso de lixiviación, exceptuando la columna de lavado continuo, el suelo que fue salinizado artificialmente se lavó por tres veces consecutivas.

Cada vez que se concluyó un lavado, la salinidad residual de este suelo se tomó como salinidad inicial para el siguiente lavado, y se continuó otra vez con el proceso de lixiviación.

En cada efluente extraído se determinó el residuo seco evaporado, el residuo seco calcinado, su conductividad eléctrica, y pH.

Al terminar con el proceso de lavado de la columna tratada, ésta fue desmontada cada 5 cm y sobre este suelo se determinó su contenido salino en base al residuo evaporado y calcinado en las relaciones suelo-agua 1: $\approx 0.2-0.6$, 1:5 y 1:10. También se determinaron en cada estrato las bases intercambiables de acuerdo con el método Pfeffer.

Con el fin de obtener con precisión el valor del volumen a capacidad de saturación y lámina neta de lavado, se determinó la evaporación diaria en una columna "tipo" y en el tanque "A".

La determinación de la lámina de lavado se hizo utilizando las curvas de lixiviación en cada proceso de lavado. Estas curvas de lixiviación se ajustaron a una función potencial $y = ax^b$.

La variable "x" se le dio el valor $\frac{Q_a}{Q_{\text{li}}}$ y a "y" se asignó $\frac{S}{S_i} 100$ ó $\frac{S_o}{S_o} 100$ ($S_o = \frac{S_i - S}{S_i}$).

RESULTADOS Y DISCUSION

Evaluación de las reservas de sales en los suelos salinos que se someten a lavado

En investigaciones detalladas que realizaron Del Cristo (1982) y Selyakov (1967), se demostró que la cantidad de sales extraídas (%) depende de la relación suelo-agua. El curso de la extracción de sales en función de las relaciones suelo-agua se presenta en la Figura 1, que muestra la evaluación de las reservas salinas de las concentraciones 0.5%, 1%, 2%, 3%, 4% y 5%, y considerando estas circunstancias, es de suponer que las reservas de sales en los suelos (perfil) pueden estar subevaluadas o sobreevaluadas; esto puede resultar evidente cuando se hacen estudios de lixiviación de sales, como es en el caso de los procesos de lavado, ya que el punto de partida (S_i), al que se refieren todas las extracciones de sales en los efluentes, es también subevaluado o sobreevaluado.

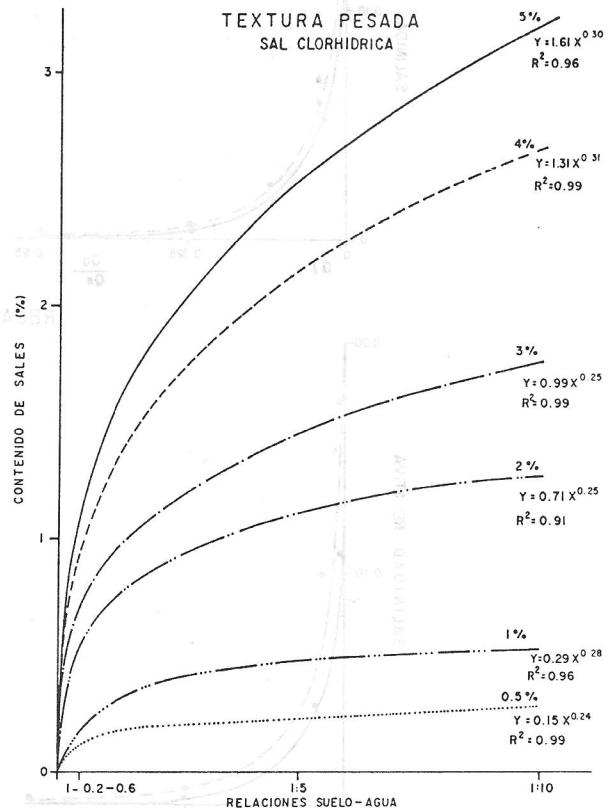


Figura 1. Curso de la extracción de sales solubles en función de las relaciones suelo-agua (residuo calcinado).

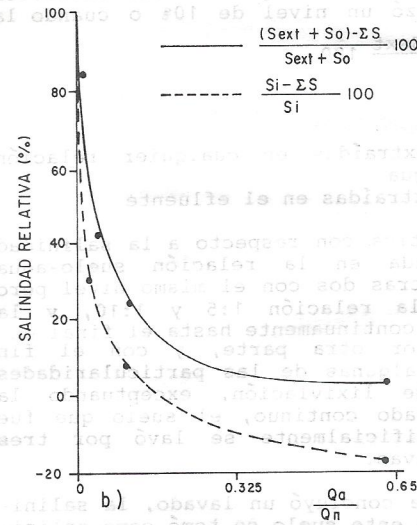
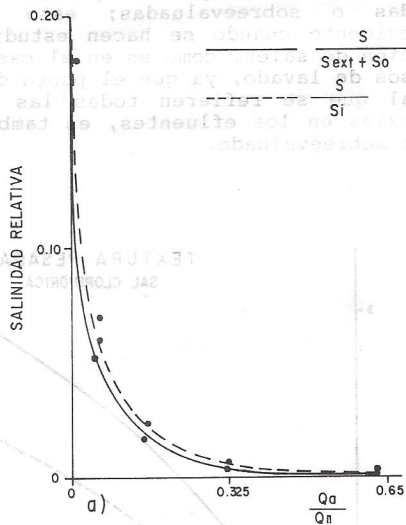
Descripción del proceso de lavado o comportamiento de las curvas de lixiviación.

En las Figuras 2a, 2c, y 3a, 3c se presentan los cursos de lixiviación de la columna 0.5%, repetición I, en su primer y segundo lavado sucesivos (se define a "R" como repetición; el índice romano para indicar el número de repetición y L1 o L2 para indicar si fue su primer o segundo lavado, ejem. 0.5% RI L1 = columna con concentración al 0.5% en la primera repetición y primer lavado). En ellas se observa que la lixiviación de sales en sus dos formas de expresar la lixiviación relativa

de sales en función de la relación suelo-agua, y Si y So fueron la salinidad inicial y residual, evaluadas en las relaciones 1: 0.2-0.6 y 1:5), es rápida, es decir, con los primeros volúmenes activos de lavado, 0.10 Q_{CS} - 0.20 Q_{CS} , se extraen 80-90% de las sales consideradas como iniciales (Si, Sext + So) de la columna para el primer y segundo lavado, sin embargo, como se puede observar en estas figuras, existen considerables diferencias en el curso de la lixiviación cuando la salinidad es Si o Sext + So.

El balance de sales en la columna 0.5% RI L1 y 0.5% RI L2 se presenta en las Figuras 2b, 2d y 3b y 3d.

RELACION SUELO-AGUA 1: ≈ 0.2-0.6



RELACION SUELO-AGUA 1: 5

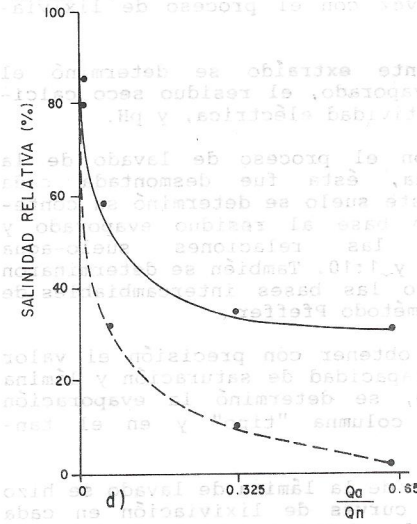
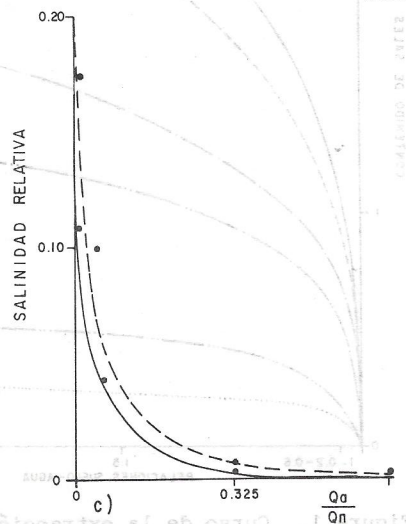


Figura 2. Curso de la lixiviación y balance de sales en función de los volúmenes activos de lavado. Prof. 0.50 m RI L1.

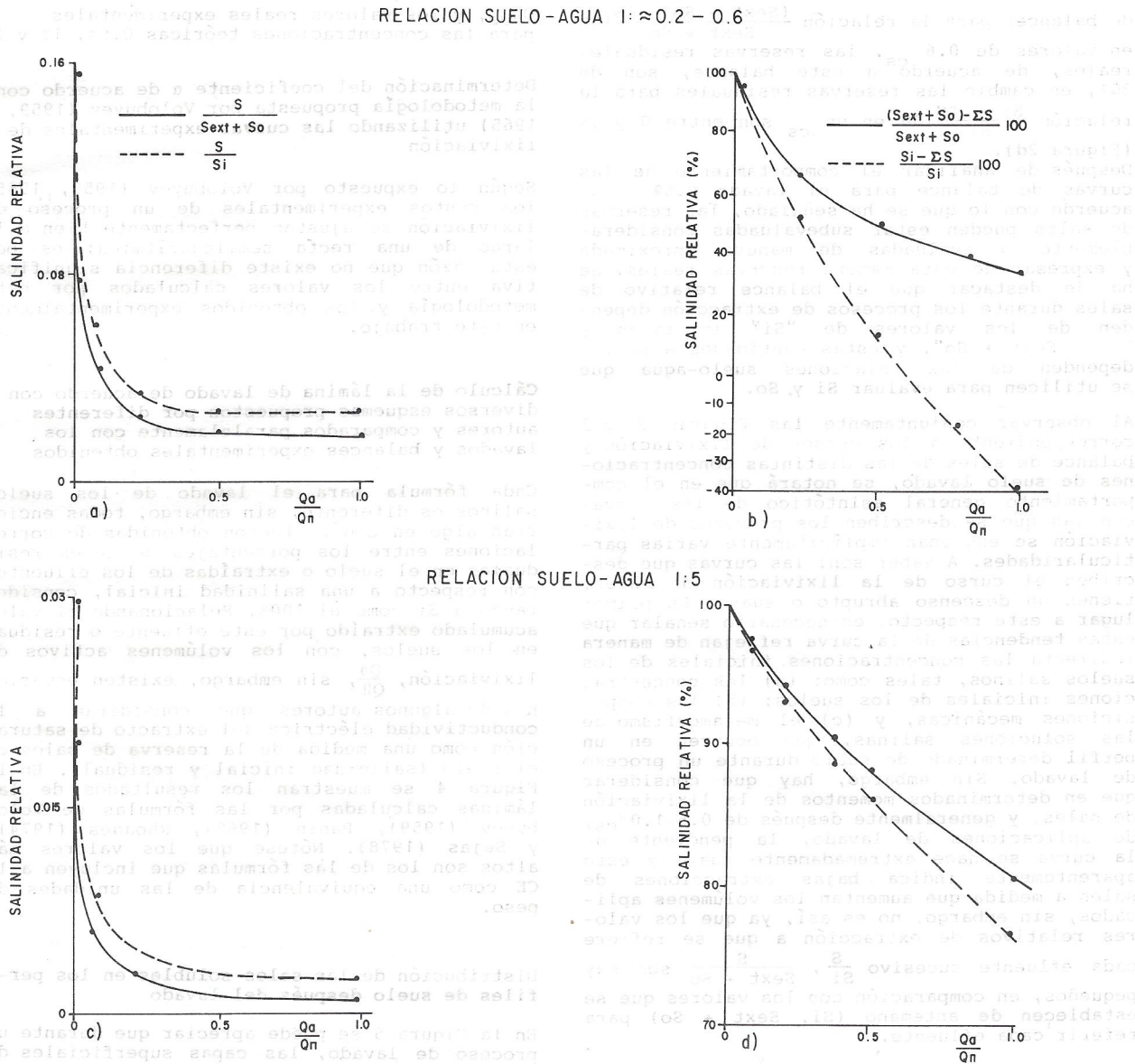


Figura 3. Curso de la lixiviación y balance de sales en función de los volúmenes activos de lavado. Prof. 60 cm 0.5 RI L2.

En estas figuras es interesante observar que las sales extraídas o sea presentes en los efluentes acumulados, cuando referidos a una salinidad inicial $S_i: \approx 0.2 - 0.6$, las salinidades residuales en los suelos se tornan negativas, es decir aparentemente se están lixivando sales que no existían, sin embargo es necesario mencionar que la evaluación de las reservas de sales $S_i: \approx 0.2 - 0.6$ condujo a una subevaluación de estas reservas, por ejemplo en la Figura 2b, que corresponde a la pasta saturada en $0.5 \Pi_{CS}$ la salinidad residual es igual a -10. En cambio, cuando la salinidad inicial se

expresa como la sumatoria de $S_{ext} + S_o: \approx 0.2 - 0.6$, las reservas de sales son $\approx 6-9$ y en $0.6 \Pi_{CS}$ la curva se hace asintótica en valores cercanos a cero. En otro punto y comparando paralelamente con los balances que corresponden a la relación $1: \approx 0.2-0.6$, los balances de sales que se obtienen con la relación $1:5$, se puede apreciar que las dos relaciones de balance $\frac{(S_{ext} + S_o) - ES}{S_{ext} + S_o} 100$ y $\frac{S_i - ES}{S_i} 100$, también se hacen asintóticas, pero en valores positivos de extracción relativa de sales. De acuerdo con el comportamiento asintótico de las curvas

de balances para la relación $\frac{(\text{Sext} + \text{So}) - \text{S}_i}{\text{Sext} + \text{So}} \cdot 100$ en valores de $0.6 \Pi_{\text{CS}}$, las reservas residuales reales, de acuerdo a este balance, son de 30%, en cambio las reservas residuales para la relación $\frac{\text{Si} - \text{S}_i}{\text{Si}} \cdot 100$ en un Π_{CS} son entre 0 y 3% (Figura 2d).

Después de analizar el comportamiento de las curvas de balance para el lavado 0.5% y de acuerdo con lo que se ha señalado, las reservas de sales pueden estar subvaluadas considerablemente o evaluadas de manera aproximada y expresar de esta manera reservas reales. Se ha de destacar que el balance relativo de sales durante los procesos de extracción dependen de los valores de "Si" iniciales y "Si = Sext + So", y estas cantidades a su vez dependen de las relaciones suelo-agua que se utilicen para evaluar Si y So.

Al observar conjuntamente las Figuras 2 y 3 correspondiente a los cursos de lixiviación y balance de sales de las distintas concentraciones de suelo lavado, se notará que en el comportamiento general asintótico de las curvas con las que se describen los procesos de lixiviación se engloban implícitamente varias particularidades. A saber son: las curvas que describen el curso de la lixiviación de sales, tienen un descenso abrupto o suave. En primer lugar a este respecto, es necesario señalar que estas tendencias de la curva reflejan de manera indirecta las concentraciones iniciales de los suelos salinos, tales como: (a) las concentraciones iniciales de los suelos; (b) las composiciones mecánicas, y (c) el metamorfismo de las soluciones salinas, que ocurren en un perfil determinado de suelo durante un proceso de lavado. Sin embargo, hay que considerar que en determinados momentos de la lixiviación de sales, y generalmente después de $0.5-1.0 \Pi_{\text{CS}}$, de aplicaciones de lavado, la pendiente de la curva se hace extremadamente suave y esto aparentemente indica bajas extracciones de sales a medida que aumentan los volúmenes aplicados, sin embargo, no es así, ya que los valores relativos de extracción a que se refiere cada efluente sucesivo $\frac{\text{S}_i}{\text{Si}}$, $\frac{\text{S}}{\text{Sext} + \text{So}}$ son muy pequeños, en comparación con los valores que se establecen de antemano (Si, Sext + So) para referir cada efluente.

Cálculo de la lámina de lavado utilizando la función potencial $y = ax^b$, para el ajuste de las curvas de lixiviación

En el Cuadro 1 se presenta una comparación entre los valores de los volúmenes y láminas activas de lavado, obtenida con las fórmulas de cálculo: $Q_a = \left(\frac{100}{a}\right)^{1/b} \Pi_{\text{CS}} \left(\frac{\text{S}_i}{\text{Si}}\right)^{1/b}$ ó

$Q_a = \left(\frac{100}{a}\right)^{1/b} \Pi_{\text{CS}} \left(\frac{\text{Si} - \text{S}}{\text{Si}}\right)^{1/b}$ derivada a partir

de la dependencia potencial $\frac{\text{S}}{\text{Si}} \cdot 100 = a \left(\frac{Q_a}{\Pi_{\text{CS}}}\right)^b$,

donde:

S = cantidad de sales extraídas acumuladas
Si = contenido inicial de sales en el suelo
Qa = volúmenes activos de lavado en unidades de capacidad de saturación

Π_{CS} , y los valores reales experimentales para las concentraciones teóricas 0.5%, 1% y 2%.

Determinación del coeficiente α de acuerdo con la metodología propuesta por Volobuyev (1959, 1965) utilizando las curvas experimentales de lixiviación

Según lo expuesto por Volobuyev (1959, 1965) los puntos experimentales de un proceso de lixiviación se ajustan perfectamente bien a lo largo de una recta semilogarítmica; es por esta razón que no existe diferencia significativa entre los valores calculados por esta metodología y los obtenidos experimentalmente en este trabajo.

Cálculo de la lámina de lavado de acuerdo con diversos esquemas propuestos por diferentes autores y comparados paralelamente con los lavados y balances experimentales obtenidos

Cada fórmula para el lavado de los suelos salinos es diferente, sin embargo, todas encierran algo en común: fueron obtenidas de correlaciones entre los porcentajes de sales residuales en el suelo o extraídas de los efluentes con respecto a una salinidad inicial, considerando a Si como el 100%. Relacionando el valor acumulado extraído por este efluente o residual en los suelos, con los volúmenes activos de lixiviación, $\frac{Q_a}{\Pi_{\text{CS}}}$, sin embargo, existen ecuaciones de algunos autores que consideran a la conductividad eléctrica del extracto de saturación como una medida de la reserva de sales en el suelo (salinidad inicial y residual). En la Figura 4 se muestran los resultados de las láminas calculadas por las fórmulas de Volobuyev (1959), Panin (1968), Rhoades (1974), y Sejas (1978). Nótese que los valores más altos son los de las fórmulas que incluyen a la CE como una equivalencia de las unidades de peso.

Distribución de las sales solubles en los perfiles de suelo después del lavado

En la Figura 5 se puede apreciar que durante un proceso de lavado, las capas superficiales de los suelos se desalinizan por lo que entonces las inferiores se salinizan. En esta figura, correspondiente a la columna 5% no lavada, se puede apreciar de la capa 0 a 50 cm se lixiviaron sólo sus sales de fácil solubilidad (CaCl_2 , NaCl), ya que no aparecen SO_4 y HCO_3 , que son indicadores de lixiviación de sales secundarias (Na_2SO_4 , NaHCO_3 , CaSO_4), como sucede en los perfiles de suelo donde se tienen procesos de lixiviación avanzados (0.5Π a 2Π).

Por otra parte, estas columnas de suelo no lavado muestran claramente que para los momentos cuando se obtenga la primer gota de lavado (Π_{CS}), ya en las capas inferiores del perfil de suelo sujeto al lavado se encuentran almacenadas, y listas para su desalojo, la mayor cantidad de las sales solubles, lo que explica el por qué a valores $\approx 0.25 \Pi_{\text{CS}}$ se desaloja el 80-90% de la salinidad relativa extraída con

Cuadro 1. Comparación entre los valores de los volúmenes y láminas activas de lavado obtenidas de acuerdo con la fórmula de cálculo y los valores reales experimentales.

Ecuación	$\frac{S}{S_i}$	Q_C ($m^3 ha^{-1}$)	Lámina _C (cm)	$\frac{S_i - S}{S_i}$	Q_C ($m^3 ha^{-1}$)	Lámina _C (cm)	Q exp ($m^3 ha^{-1}$)	Lámina exp (cm)
Concentración 0.5%, $S_i = 24.12 \text{ ton/ha}^{-1}$, $\Pi = 2,206 \text{ m}^3 ha^{-1}$, Prof. de lavado = 0.50 m.								
$Q = 3.46 \Pi \left(\frac{S}{S_i}\right)^{5.56}$	0.42	61.37	0.61	0.58	70.76	0.71	92.65	0.93
	0.54	248.19	2.48	0.46	193.97	1.94	167.66	1.68
$Q = 0.003 \Pi \left(\frac{S_i - S}{S_i}\right)^{-4.35}$	0.59	406.09	4.06	0.41	419.98	3.20	277.96	2.78
	0.64	638.33	6.38	0.36	563.39	5.63	533.06	5.33
	0.69	969.80	9.70	0.31	1079.70	10.80	1394.00	13.94
Concentración 1%, $S_i = 37.55 \text{ ton/ha}^{-1}$, $\Pi = 2,466 \text{ m}^3 ha^{-1}$, Prof. de lavado = 0.50 m.								
$Q = 0.51 \Pi \left(\frac{S}{S_i}\right)^{2.04}$	0.18	38.05	0.38	0.82	81.23	0.81	56.72	0.57
	0.43	224.82	2.25	0.57	134.67	1.35	167.69	1.68
	0.67	555.59	5.56	0.33	287.87	2.88	315.65	3.16
$Q = 0.025 \Pi \left(\frac{S_i - S}{S_i}\right)^{-1.39}$	0.81	818.23	8.18	0.19	620.11	6.20	651.03	6.51
	0.88	968.97	9.69	0.12	1174.55	11.75	986.40	9.87
	0.92	1060.94	10.61	0.08	2063.66	20.64	1617.70	16.18
Concentración 2%, $S_i = 58.18 \text{ ton/ha}^{-1}$, $\Pi = 2,298 \text{ m}^3 ha^{-1}$, Prof. de lavado = 0.35 m.								
$Q = 0.81 \Pi \left(\frac{S}{S_i}\right)^{1.54}$	0.18	74.97	0.75	0.82	126.25	1.27	93.46	0.94
	0.32	181.84	1.82	0.68	150.60	1.51	167.44	1.68
	0.45	307.40	3.08	0.55	182.29	1.82	241.43	2.42
$Q = 0.082 \Pi \left(\frac{S_i - S}{S_i}\right)^{-0.90}$	0.54	407.05	4.07	0.46	214.10	2.14	316.71	3.17
	0.76	688.99	6.89	0.24	384.50	3.85	539.97	5.40
	0.89	878.66	8.79	0.11	775.95	7.76	808.66	8.09
	0.96	987.32	9.87	0.04	1928.57	19.20	1323.96	13.24

$\frac{S}{S_i}$ = salinidad extraída, referida a la salinidad inicial.

Q_C = volumen activo de lavado calculado con la función, expresada en $m^3 ha^{-1}$.

Lam_C = lámina activa de lavado calculada con la función, expresada en cm.

$\frac{S_i - S}{S_i}$ = salinidad residual en la columna, evaluada con respecto a la salinidad inicial.

Q exp = volumen activo de lavado experimental, expresado en $m^3 ha^{-1}$.

Lam exp = lámina activa de lavado experimental, expresada en cm.

respecto a S_i . En estas columnas se observa que las primeras capas de suelos tienen altos contenidos de humedad (> capacidad de campo) y ésta desciende con la profundidad, lo que indica un afectamiento de la conductividad hidráulica, causadas según Ortega (1976) por el hinchamiento natural que sufren las arcillas al humedecerse, y por el ion sodio que causa una migración de las arcillas y partículas coloidales, bloqueando los poros del suelo cuando su PSI es > que 15%.

CONCLUSIONES

- La evaluación de las reservas iniciales de sales (S_i) de un suelo salino debe realizarse en la relación de extracción de sales suelo-agua 1:5.
- Cuando las reservas iniciales de sales (S_i) de un suelo salino se evalúan en la relación

de extracción suelo-agua 1:0.2-0.6, estas reservas son menores con respecto a las determinadas en la relación 1:5 en 0.3-0.8% ($S_{i:1:5}$), de ahí que, cuando se establecen los balances salinos durante un proceso de lavado, las curvas de lixiviación siempre extraen más sales que las consideradas como iniciales en $S_{i:0.2-0.6}$.

- Durante el estudio de un proceso de lavado, y para la obtención de las curvas de lixiviación, la salinidad inicial de los suelos salinos deberá ser definida como $S_i = S_{ext} + S_o$ ($S_{o:1:5}$) y referir la salinidad extraída

acumulada $\left(\frac{S}{S_{ext} + S_o}\right)$ o residual en los suelos $\left[\frac{(S_{ext} + S_o) - S}{S_{ext} + S_o}\right]$ a esta salinidad inicial.

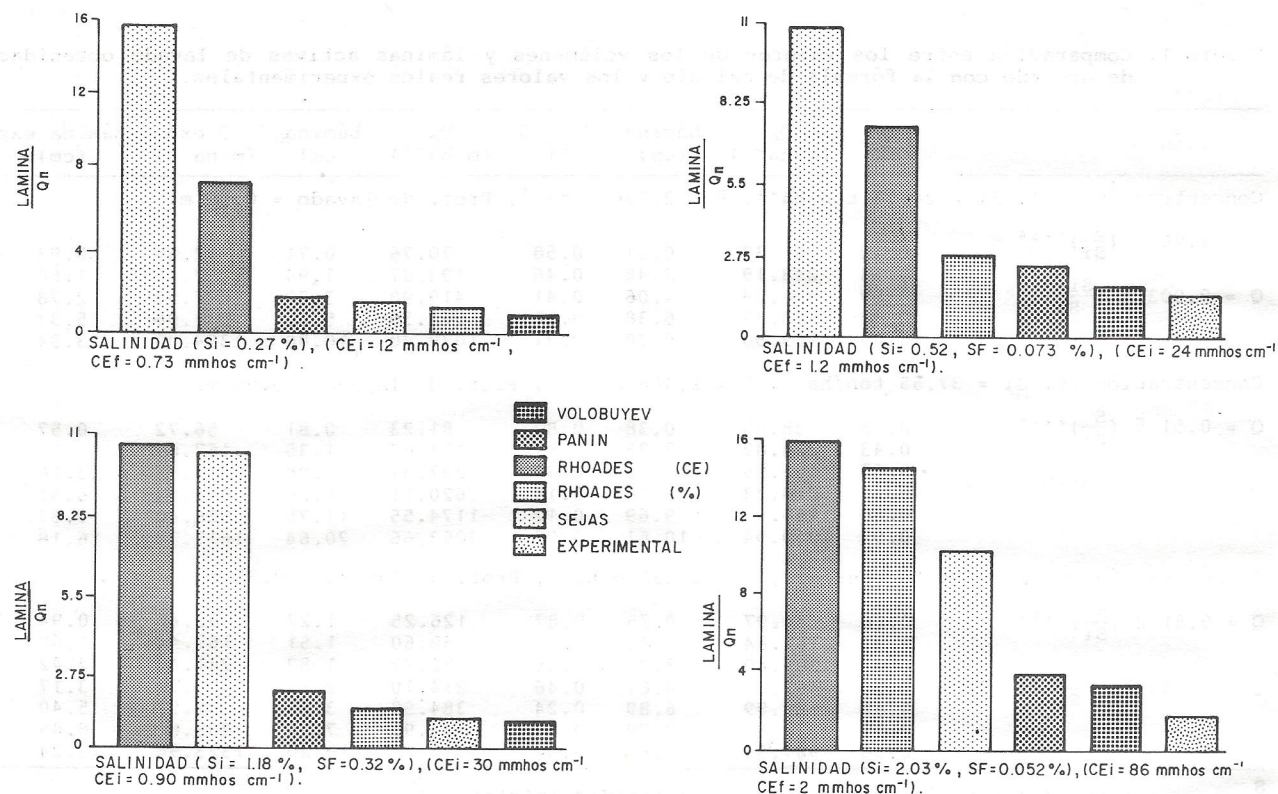


Figura 4. Láminas de lavado calculadas por diferentes fórmulas, comparadas con las cantidades de agua aplicada.

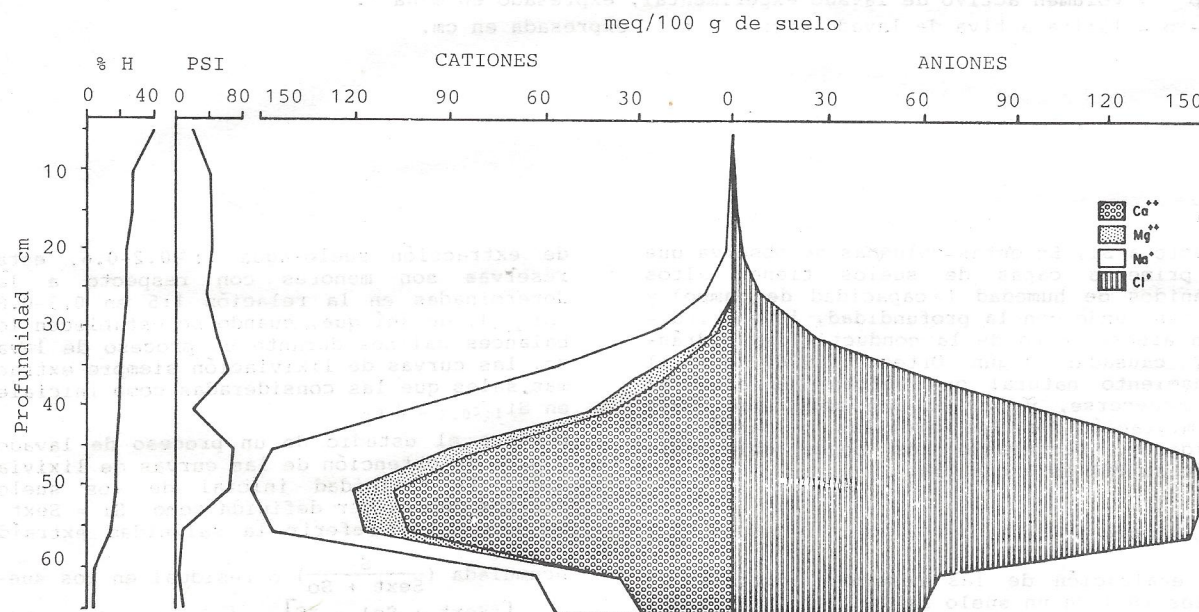


Figura 5. Distribución de la composición de sales solubles determinadas en el extracto suelo-agua 1:5, para la concentración 5%, en columnas de suelo ≈ 1.0 m.

- La máxima cantidad de sales es lixiviada en los primeros volúmenes activos de lavado (80-90%), y estos son equivalentes a $\approx 25-50\%$ del volumen constante de lavado Π_{CS} .
- El desplazamiento de las sales solubles en los suelos de cualquier espesor, es descrito correctamente a través de la relación funcional, $\frac{S}{S_1} = f\left(\frac{Qa}{Q\Pi}\right)$, pudiendo elegir una función potencial $y = ax^b$.
- Al llevar a cabo una síntesis comparativa entre los esquemas de cálculo de la norma o lámina de lavado, se observó que los valores variaron de acuerdo a la siguiente secuencia: experimentales < Volobuyev < Panin < Sejas < Rhoades.
- Los valores del coeficiente α de Volobuyev que refleja las particularidades del proceso de lixiviación de los lavados experimentales se determina de acuerdo con la fórmula:

$$\alpha = \frac{Qa}{Q\Pi \log S}$$

- En los suelos, en donde se tuvo un contenido de sales intercambiables < 15%, el lavado de estos suelos fue relativamente rápido, ya que no hubo problemas de dispersión coloidal; en cambio cuando los contenidos de sodio intercambiable son > 15%, la permeabilidad de los suelos es sensiblemente afectada, como ocurrió en los suelos en que no se obtuvieron efluentes.
- En un corte vertical de un suelo sujeto a lavado, en línea descendente, se observa que los extractos sucesivos inferiores se salinizan en mayor cantidad, de tal manera que, cuando un espesor cualquiera de suelo alcanza su capacidad de saturación, Π_{CS} los estratos inferiores poseerán la máxima concentración de sales.

LITERATURA CITADA

- Del Cristo, G. R. 1982. Establecimiento de relaciones funcionales entre láminas de lavado, sales desplazadas, y sales residuales en los suelos salinos. Tesis de Maestría en Ciencias. Centro de Hidrociencias, Colegio de Postgraduados, Chapingo, Méx.
- Kovda, V. A. 1980. Problem of combating salinization of irrigated soils (selected lectures). United Nations Environment Programme (UNEP). Commission of the USSR for UNEP. Center for International Projects. Course on reclamation of saline irrigated lands. Moscú, USSR.
- Ortega E., H. M. 1976. Cambios físico-químicos de suelos del vaso del Ex-lago de Texcoco, sujetos a lavado con diferentes soluciones. Tesis de Maestría. Rama de Riego y Drenaje, Colegio de Postgraduados, Chapingo, Méx.
- Panin, P. S. 1968. Los procesos de lixiviación de sales en los suelos sujetos a lavado. Ed. Nauka. Novosibirsk. Traducción inédita del Dr. Manuel Ortega y revisión del M. C. Carlos Ramírez Ayala, Centro de Hidrociencias, Colegio de Postgraduados, Chapingo, Méx.
- Rhoades, J. D. 1974. Drainage for agriculture. Cap. 16, pp 433-468, Number 17 in the Series Agronomy. Edited by Jan Van Schilfgaarde.
- Safonov, G. A., S. D. Galinskiy y Yu E. Mitronkyn. 1976. Modelo estocástico del lavado de suelos salinos sulfáticos. In: Métodos matemáticos en la Biología y en la Edafología. pp 165-177. Academia de Ciencias de la URSS. Editorial Nauka, Kas SSR. Alma-ata Kaz SSR-URSS. Traducción inédita del Dr. Manuel Ortega Escobar y revisada por el M. C. Carlos Ramírez Ayala, Centro de Hidrociencias, Colegio de Postgraduados, Chapingo, Méx.
- Sejas, A. J. 1978. Comportamiento físico-químico de suelos ensalitrados sometidos a lavado con diluciones graduales. Tesis de Maestría en Ciencias. Centro de Hidrociencias, Colegio de Postgraduados, Chapingo, Méx.
- Selyakov, S. N. 1967. Determining water soluble salt reserve in salinized soils. Sov. Soil Sci. No. 7. pp 957.
- Volobuyev, V. R. 1959. La determinación de las normas de lavado en el mejoramiento de los suelos salinos. Hidrotécnica y mejoramiento No. 12. Traducción inédita del Dr. Manuel Ortega Escobar y revisada por el M. C. Carlos Ramírez Ayala, Centro de Hidrociencias, Colegio de Postgraduados, Chapingo, Méx.
- Volobuyev, V. R. 1965. Investigación sobre la capacidad de lixiviar sales de los suelos, utilizando el método de lavados en monolitos. Informe de la Academia de Ciencias de la República de Azerbaizhan. SSR. URSS. Traducción inédita del Dr. Manuel Ortega Escobar y revisada por el M. C. Carlos Ramírez Ayala, Centro de Hidrociencias, Colegio de Postgraduados, Chapingo, Méx.

ANÁLISIS DE UNA SERIE DESBALANCEADA DE EXPERIMENTOS DE FERTILIZANTES EN CAÑA DE AZÚCAR ¹

Pedro Rojas Hernández ²
Angel Martínez Garza ²

RESUMEN

En este trabajo se emplea una técnica estadística de análisis de series desbalanceadas de experimentos de fertilizantes, propuesta por Martínez et al. (1981) para interpretar los resultados de una serie de 13 experimentos cañeros, realizados en la zona de abastecimiento de los Ingenios de Ameca y Tala en Jalisco, entre 1972 a 1979. Se contó con información de 25 cosechas de los 13 experimentos. Los datos se ajustaron a un modelo lineal que explica el valor de la característica en estudio, en términos de un modelo que combina clasificación con regresión. Como factores de clasificación se consideraron los efectos de experimentos, de ciclos de cosecha dentro de experimentos y de tratamientos (o efectos de las fórmulas de fertilizantes ensayadas) y como factores para la parte regresiva del modelo, los niveles de nitrógeno, fósforo y potasio de cada fórmula fertilizante. Los altos valores de la R^2 , algunos de ellos superiores al 90%, muestran la bondad de la técnica. En términos concretos, el modelo propuesto es de la forma:

$$\bar{y}_{ijk} = \mu + \pi_i + \gamma_{ij} + \tau_k + \bar{e}_{ijk},$$

$$i = 1, 2, \dots, p; j = 1, 2, \dots, r_i; k = 1, 2, \dots, t;$$

donde \bar{y} es la media del tratamiento k , en el ciclo de cosecha j del experimento i , μ es un efecto común a todas las observaciones, π es el efecto del experimento i , γ es el efecto del ciclo de cosecha j dentro del experimento i , τ es el efecto del tratamiento k y \bar{e} es el término de error (como es usual, los errores se suponen no correlacionados, con media 0 y varianza desconocida σ^2). τ se aproxima por medio de un polinomio cuadrático en (N, P, K) las dosis de nitrógeno, fósforo y potasio, comprendidas por la fórmula k . El ajuste al modelo se logra a través de programas de computación electrónica.

ABSTRACT

A statistical technique to analyze unbalanced series of experiments was used to interpret results of 13 sugar-cane experiments, conducted during 1972-1979 in Jalisco State, Mexico. The lineal model employed combines classification with regression. As classification factors were considered: the effects from experiment, from harvest cycles within experiments, and from treatments (effects of fertilization formulae assayed) and as factors for the regressive part of the model, the nitrogen, phosphorus, and potassium levels from each fertilization formula. The high values of R^2 (some higher than 90%) reflect the goodness of the technique. The proposed model was:

$$\bar{y}_{ijk} = \mu + \pi_i + \gamma_{ij} + \tau_k + \bar{e}_{ijk},$$

$$i = 1, 2, \dots, p; j = 1, 2, \dots, r_i; k = 1, 2, \dots, t;$$

where \bar{y} is the mean of treatment k in the harvest cycle j of experiment i ; μ is a common effect to all observations, π is the experiment i effect, γ is the effect of harvest cycle j within experiment i , τ is the effect of treatment k and \bar{e} is the error term. The value of τ is approximated by means of a quadratic polynomial. The fitting of the model was made by electronic computational means.

¹ Ponencia presentada en el XVIII Congreso Nacional de la SMCS.

² Centro de Estadística y Cálculo del Colegio de Postgraduados, Chapingo, México.

INTRODUCCION

Es frecuente, en la práctica de la experimentación agrícola, que los investigadores confronten al problema de analizar series desbalanceadas de experimentos, con el propósito de establecer recomendaciones aplicables a una zona ecológica más o menos homogénea. Tal desbalance ocurre por la característica dinámica de la experimentación agrícola. Con el transcurso del tiempo los esquemas experimentales sufren cambios naturales, al introducirse nuevas técnicas de diseño que usualmente comprenden el ensayo de nuevos tratamientos. Persiste, sin embargo, una liga o conexión entre los experimentos, que es dada por los tratamientos testigo (usualmente el tratamiento sin fertilizante). Esta conexión permite estimar todos los contrastes entre efectos de tratamientos y es de hecho la base para un análisis combinado. En este trabajo se ilustra el empleo de una técnica estadística de análisis de series desbalanceadas de experimentos de fertilizantes, propuesta por Martínez et al. (1981), para el cultivo de la caña de azúcar, y que había sido sugerida con anterioridad por Martínez (1980), para situaciones más generales.

METODO DE ANALISIS

Puesto que la caña de azúcar se caracteriza por ser un cultivo semiperenne, cada unidad experimental o parcela de un experimento, puede producir observaciones de varias cosechas. El método de análisis se basa, por consiguiente, en el planteamiento de un modelo de la forma:

$$\bar{y}_{ijk} = \mu + \pi_i + \gamma_{ij} + \tau_k + e_{ijk},$$

$$i = 1, 2, \dots, p; j = 1, 2, \dots, r_i;$$

$$k = 1, 2, \dots, t; \quad (1)$$

donde \bar{y}_{ijk} es la media del tratamiento k, en el ciclo de cosecha j del experimento i, μ es un efecto común a todas las observaciones, π_i es el efecto del experimento i, γ_{ij} es el efecto del ciclo de cosecha j dentro del experimento i, τ_k es el efecto del tratamiento k y e_{ijk} es el término aleatorio de error (como es usual, los errores se suponen no correlacionados, con media 0, varianza desconocida σ^2 y distribución normal). τ_k se aproxima en términos de un polinomio cuadrático, como sigue:

$$\tau_k = \beta_0 + \beta_1 N_k + \beta_2 P_k + \beta_3 K_k + \beta_{11} N_k^2 + \beta_{22} P_k^2 + \beta_{33} K_k^2$$

$$+ \beta_{12} N_k P_k + \beta_{13} N_k K_k + \beta_{23} P_k K_k + \eta_k, \quad k = 1, 2, \dots, t, \quad (2)$$

donde (N_k, P_k, K_k) son las dosis de nitrógeno, fósforo y potasio correspondientes al tratamiento k, $\beta_0, \beta_1, \beta_2, \beta_3, \beta_{11}, \beta_{22}, \beta_{33}, \beta_{12}, \beta_{13}$ y β_{23} son los coeficientes de regresión del modelo cuadrático y η_k es la desviación del modelo con respecto a los efectos de tratamientos. Los η_k deben ser despreciables (no significativos), si el modelo cuadrático explica la variación producida por los efectos de tratamientos.

Es común que algunos de los términos en el lado derecho de la expresión (2), sean de valor explicativo nulo, como ocurre con frecuencia con el efecto de potasio y de sus interacciones con los otros nutrientes en muchos suelos de México; esto conduce al investigador a probar otros modelos que ocurren como casos particulares de (2), al tomar uno o algunos de los coeficientes de regresión, iguales a cero.

Bajo la descripción anterior, el análisis de varianza de una característica en estudio, presenta la estructura del Cuadro 1. En este cuadro, N es el número total de observaciones, r_i es el número de ciclos de cosecha del experimento i, p es el número de experimentos, q el número de coeficientes de regresión distintos de β_0 que comprende el modelo ajustado y G es el total de todas las observaciones; los grados de libertad del error se obtienen por diferencia, restando de N-1 los grados de libertad de las demás fuentes de variación. Ahora bien, el desbalance de la serie de experimentos, conduce al investigador a recurrir a paquetes de computación electrónica, para el ajuste del modelo (1) y del polinomio (2). SCT y SCReg del Cuadro 1, son las sumas de cuadrados debidas a tratamientos y al ajuste del modelo (2), ajustados por los efectos de experimentos y de ciclos de cosecha dentro de experimentos. SC{DM} se obtiene por diferencia restando SCReg de SCT.

El paquete SAS (Statistical Analysis System - Sistema para Análisis Estadístico), producido por el Instituto SAS de Raleigh, N. C., permite con facilidad el ajuste al modelo propuesto. El trabajo de Martínez (1983), describe en términos muy condensados, el empleo de algunos procedimientos de SAS, en particular de GLM, el procedimiento para ajustar masas de datos a un modelo lineal muy general, y que resuelve el problema que se discute aquí.

Cuadro 1. Análisis de varianza de una serie desbalanceada de experimentos de fertilizantes en caña de azúcar.

Fuentes de variación	Grados de libertad	Sumas de cuadrados	Cuadrados medios
Experimentos	p	SCExp	
Ciclos de cosecha dentro de experimentos	$\sum_{i=1}^p r_i - p$	SC(CDExp)	
Tratamientos ajustados	t-1	SCT	CMT
Modelo cuadrático	q	SCReg	CMReg
Desviaciones del modelo	t-1-q	SC{DM}	CM{DM}
Error combinado	Por diferencia	SCE	CME = s^2
Total	N-1	$\sum Y^2 - \frac{G^2}{N}$	

SERIE DESBALANCEADA DE EXPERIMENTOS DE FERTILIZANTES EN AMECA, JAL.

Durante el lapso de 1972 a 1979, el Instituto para el Mejoramiento de la Producción de Azúcar realizó una serie de 13 experimentos sobre fertilizantes en caña de azúcar, dando lugar a un total de 25 cosechas. Se emplearon en general, diseños San Cristóbal, cuadrados dobles y diseños compuestos centrales, ensayándose dosis de 0 a 300 kg/ha de nitrógeno, fósforo y potasio, comprendiendo la serie hasta 40 fórmulas o tratamientos de fertilización distintas. Las características objeto de análisis, fueron: el rendimiento de caña en ton/ha, el rendimiento de azúcar en ton/ha, la sacarosa en caña, la pureza del jugo y el contenido de fibra. El programa SAS del Cuadro 2, que sólo reporta algunas de las 340 observaciones, produce el ajuste al modelo (1) y a tres modelos cuadráticos distintos. Los nombres SAS empleados fueron:

- EXP para el experimento
- C para el ciclo de cosecha
- Z para la zafra
- TC para el tipo de cultivo
- TRAT para el tratamiento
- N para la dosis de nitrógeno en kg/ha
- P para la dosis de fósforo en kg/ha
- K para la dosis de potasio en kg/ha
- R para el rendimiento de caña en ton/ha
- A para el rendimiento de azúcar en ton/ha
- S para la sacarosa, porciento de caña
- PUR para el porciento de pureza del jugo
- F para la fibra, porciento de caña.

Con instrucciones de programación se generan las variables N2, P2, K2, NP, NK y PK para los efectos cuadráticos de nitrógeno, fósforo y potasio, y para las interacciones nitrógeno por fósforo, nitrógeno por potasio, y fósforo por potasio. Una primera aplicación del procedimiento GLM de SAS a través de las instrucciones:

```
PROC GLM; CLASSES EXP C TRAT;
MODEL R A S PUR F=EXP C(EXP) TRAT; LSMEANS TRAT; MEANS TRAT;
```

Cuadro 2. Análisis combinado de los experimentos de fertilizantes.

```
//FERTAME1 JOB (CPA64083,000),P,ROJAS,CLASS=E, T=015 M=0512
// TIME=015 PW=EVAR
// EXEC SAS822,SYSOUT="(E,0020)",OUTLIM=0
//SYSIN DD *
DATA UNO;
INPUT EXP 1-2 C 3 Z 4 TC 5 TRAT 6-7 N 8-10 P 11-13 K 14-16 R 17-24
A 25-32 S 33-40 PUR 41-48 F 49-56;
N2=N*N; K2=K*K; NP=NP*P; NK=N*K; PK=P*K; P2=P*P;
CARDS;
111S 1 0 0 0 69,3400 9,8192214,1950087,4250014,33500
111S 2 0 60 0 94,707513,2104114,0275084,0925012,24000
111S 3 0 120 0 99,062513,4146413,6100082,8550013,23250
111S 4 60 30 0 91,182513,2863814,5700084,5050011,68000
.....
1621S11240 0 0 95,065013,6901314,4425082,6050013,18000
1621S12240 60 0 92,050014,3278915,5800084,5550013,71000
1621S13240120 0 96,282513,8169514,3375081,0750012,57250
1621S14120 60 60 88,782512,4773714,0575082,4125013,43750
PROC GLM; CLASSES EXP C TRAT;
MODEL R A S PUR F=EXP C(EXP) TRAT; LSMEANS TRAT; MEANS TRAT;
PROC GLM; CLASSES EXP C;
MODEL R A S PUR F=EXP C(EXP) N P K N2 P2 K2 NP NK PK/SOLUTION;
PROC GLM; CLASSES EXP C;
MODEL R A S PUR F=EXP C(EXP) N N2/SOLUTION;
PROC GLM; CLASSES EXP C;
MODEL R A S PUR F=EXP C(EXP) N/SOLUTION;
PROC PRINT;
/*
//
```


produce los elementos fundamentales del análisis de varianza del Cuadro 1, como son: las sumas de cuadrados debidas a experimentos, ciclos de cosecha dentro de experimentos, tratamientos ajustados, error y total. Las siguientes tres aplicaciones de GLM ajustan, respectivamente, al modelo cuadrático completo, al modelo cuadrático en nitrógeno exclusivamente, y al modelo lineal en nitrógeno exclusivamente. En particular, el modelo cuadrático en nitrógeno se ajusta a través de las instrucciones:

```
PROC GLM; CLASSES EXP C;
MODEL R A S PUR F=EXP C(EXP) N NE/SOLUTION;
```

El detalle de los resultados de esta investigación estadística, se da en Rojas (1985). Se concluye que el nitrógeno es el principal responsable de las variaciones en el rendimiento de caña y, por consiguiente, en el rendimiento de azúcar; el efecto de los tratamientos sobre la sacarosa en caña y sobre la pureza del jugo, no es significativamente importante; se observa un pequeño efecto, despreciable desde el punto de vista práctico, de los tratamientos sobre el contenido de fibra de la caña. Para los datos de rendimiento de campo, el Cuadro 3 presenta el análisis de varianza correspondiente, observándose que el modelo cuadrático en nitrógeno exclusivamente explica la mayor parte de la variabilidad debida a los tratamientos, dejando un residuo no significativo.

El empleo de la opción SOLUTION en los enunciados MODEL que acompañan al procedimiento GLM de SAS, produce la impresión de una solución al sistema de ecuaciones normales, lo cual incluye a los coeficientes de regresión del polinomio empleado para explicar los efectos de tratamientos. De la solución que imprime SAS, para los datos de rendimiento de campo, se obtiene la ecuación de regresión estimada:

$$I_R = 0.401316N - 0.0084911N^2,$$

donde I_R es el incremento en el rendimiento de campo en ton/ha y N la dosis de nitrógeno aplicada al suelo en kg/ha. Expresiones como la anterior permiten un análisis económico del problema. Así por ejemplo, si P_R es el precio de liquidación al cañero de la tonelada de caña y P_N es el costo del kilogramo de nitrógeno aplicado por hectárea, entonces I_N , el ingreso neto, es dado por:

$$I_N = P_R(0.401316N - 0.0084911N^2) - P_N N.$$

De aquí, I_N es un máximo, cuando

$$N = (0.401316 - P_N/P_R) / 0.0169822.$$

Como una observación final, excepto por los datos de la pureza del jugo para los cuales la R^2 observada fue de 63.7%, para las otras características examinadas las R^2 fluctuaron entre 88.4% y 91.8%, lo que es indicativo de una reducida o nula interacción de los tratamientos con los experimentos y con los ciclos de cosecha.

COMENTARIOS SOBRE LA METODOLOGIA PROPUESTA

En el caso de la caña de azúcar, la división de toda el área cañera en zonas ecológicas bien definidas, ha permitido conocer panorámicamente el nivel de fertilidad de los suelos dedicados a la producción de este cultivo en México. Todos los resultados se han basado en el examen de las numerosas series de experimentos de fertilizantes realizados por el Instituto para el Mejoramiento de la Producción de Azúcar.

Cuadro 3. Análisis de varianza combinado de los datos de rendimiento de campo.

Fuentes de variación	Grados de libertad	Sumas de cuadrados	Cuadrados medios	F Calculada
Experimentos	12	140752.78		
Ciclos de cosecha dentro de experimentos	12	58794.84		
Tratamientos	39	110505.80		
Modelo en N y N ²	2	106771.28	53385.64	534.87**
Desv. del modelo	37	3734.47	100.93	1.01 ^{NS}
Error combinado	276	27547.47	99.81 = s ²	
Total	339	337600.90		

** Significancia al 1%.

NS Efecto no significativo.

Desde el punto de vista económica, la fertilización de la caña de azúcar es una actividad altamente redituable; la inversión realizada se recupera varias veces en un ciclo de cultivo, convirtiéndose en la mejor inversión tecnológica de la caña de azúcar. Para descubrir lo anterior, se ha requerido simplemente de una técnica estadística de análisis, cuya aplicación es muy sencilla con los métodos modernos de computación electrónica. Su aplicación al cultivo de la caña de azúcar, ha sido un éxito rotundo; puede extenderse fácilmente a otros estudios de fertilización con otros cultivos; su éxito, claramente, dependerá esencialmente de la calidad de la experimentación.

LITERATURA CITADA

- Martínez Garza, A. 1980. Análisis de series desbalanceadas de experimentos de fertilizantes. Ponencia presentada al XIV Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo, Toluca, Méx.
- Martínez G., A., P. Rojas H. y V. Enríquez R. 1981. Estadística matemática y experimentación cañera. IMPA, Córdoba, Ver.
- Martínez Garza, A. 1983. Introducción al SAS. CEC, Colegio de Postgraduados, Chapingo, Méx.
- Rojas Hernández, P. 1985. Problemas estadísticos de la investigación cañera. Tesis de Maestría en Ciencias. Colegio de Postgraduados, Chapingo, Méx.

LA EROSION Y CONSERVACION DEL SUELO EN MEXICO REALIDADES Y PERSPECTIVAS ¹

Valentin Vázquez Aguilar²

I INTRODUCCION

En México, el problema de la erosión y su control siempre se han manejado desde el punto de vista edafológico; sin embargo, al estudiar el problema de la erosión desde el punto de vista agrícola, se ha encontrado que no es de importancia. Esta aseveración explica porque los agricultores han soslayado el control de la erosión y en casos extremos, hasta han llegado a destruir las prácticas de conservación del suelo que la extinta Dirección General de Conservación del Suelo y Agua (DGCSA) les ha construido, porque les ocasiona serios problemas en el manejo de la maquinaria dentro de sus parcelas.

Los estudios incluidos en este escrito analizan el problema de la erosión desde los dos puntos de vista. Bajo el criterio edafológico la erosión debe corregirse in situ, por lo tanto, es necesario establecer prácticas de conservación de suelos en toda la superficie del país afectada. Este enfoque ha provocado que el trabajo realizado por el Gobierno Federal, a través de la Secretaría encargada del despacho de los asuntos agrícolas, en los últimos seis sexenios (1947-1982), resulte insignificante, pues sólo ha logrado controlar el 2.098% de la superficie nacional afectada. Por otra parte, bajo el punto de vista agrícola se pone de manifiesto que aun con fuertes degradaciones del suelo, la capacidad de éste para producir cosechas se ve poco afectada, consecuentemente, el agricultor no siente la necesidad de establecer prácticas mecánicas y/o vegetativas de conservación del suelo en sus parcelas.

Finalmente se plantea la necesidad de crear una tecnología que reduzca la tasa de erosión anual a que están sometidos los suelos de México. Una característica importante de esta tecnología es que no debe afectar el área de siembra de las parcelas ni involucrar la participación directa de los agricultores; por lo tanto, se debe diseñar y construir prácticas y obras de conservación del suelo a nivel de cuencas hidrológicas en los lugares que reúnan las siguientes características: (a) que sean áreas naturales de deposición de sedimentos, (b) que tengan pendientes leves para permitir la circulación de los escurrimientos a velocidades no erosivas, y (c) que correspondan a los linderos

de los terrenos o a las áreas que no sean utilizadas para la siembra de cultivos, pues de lo contrario, se corre el riesgo de que sean destruidas por el agricultor.

II PERDIDAS DE SUELO Y AGUA EN MEXICO

A través de los inventarios de erosión realizados por la extinta DGCSA, se determinó que el 80% de la superficie del país (155.6 millones de hectáreas) evidencian algún problema de erosión. Por otra parte, también se determinó que en el país se pierden en promedio 2.8 toneladas de suelo por hectárea anualmente, lo que a su vez representa una pérdida total de suelo de 535 millones de toneladas por año. El 69% de este volumen descarga al mar y el 31% restante (166 millones de toneladas por año) se deposita en las obras de almacenamiento o lagunas naturales, provocando una reducción en la capacidad de almacenamiento de agua del país.

Para darnos una idea de la magnitud de estos azolves, relacionaremos esta cantidad con la capacidad de almacenamiento del país en presas mayores de 5 millones de metros cúbicos. EL NUEVO ATLAS PORRUA de la República Mexicana, en su tercera edición de 1977, reporta una capacidad de 112,744.8 millones de m³, por lo tanto, si los 166 millones de toneladas anuales de azolves representan aproximadamente 151 millones de m³, anualmente se reduce el 0.13% de la capacidad de almacenamiento del país, de tal forma que en un período de 50 años se alcanzará una reducción del 6.7%.

Refiriéndonos a la productividad de los suelos, la erosión alcanzada en México ha provocado una reducción del 33%, cifra que resulta demasiado elevada desde cualquier punto de vista que se considere.

En relación con las pérdidas de agua, anualmente se generan 410 mil millones de m³ de escurrimiento, de los cuales sólo se aprovechan 121 mil millones de m³ y el resto se deja escurrir al mar. En México, alrededor del 23% de la lluvia se convierte en escurrimiento, el cual, si se aprovechara de una manera más integral, representaría grandes beneficios para el desarrollo nacional y la recarga de acuíferos,

¹ Ponencia presentada en el XIX Congreso Nacional de la SMCS.

² Dirección General de Normatividad Agrícola.

logrando atenuar los grandes problemas existentes de sobreexplotación, abatimiento e intrusión salina de los mismos.

Las pérdidas de suelo y agua originan problemas que se manifiestan a través del azolve de los sistemas hidráulicos, la contaminación de suelos, contaminación y reducción de los cuerpos de agua y consecuentemente, la extinción de la fauna acuática. Estos problemas afectan también a las áreas urbanas al provocar el azolve de los sistemas de drenaje y la contaminación ambiental. De igual forma, los escurrimientos que fluyen sin control a través de las cuencas, provocan problemas de inundación en las partes bajas y disminuyen la recarga de los acuíferos que existen en la cuenca. En forma indirecta, la pérdida de suelo y agua origina problemas sociales muy importantes, entre los que se pueden destacar la pobreza de ciertos sectores rurales, migración de grupos campesinos y desempleo rural y urbano.

III ESTUDIOS RELACIONADOS CON LA EROSION

Los estudios realizados sobre la erosión del suelo han tenido diferentes enfoques, y por lo tanto es conveniente separarlos.

PERDIDAS DE SUELO

La extinta DGCSA evaluó las pérdidas de suelo ocurridas anualmente en suelo desnudo y suelo sembrado con maíz. El Cuadro 1 muestra que las pérdidas ocurridas en el suelo desnudo oscilaron desde 8.9 hasta 41.4 ton/ha/año, mientras que con el cultivo más común de México, se redujeron aproximadamente a un 10%.

En forma simultánea, la extinta DGCSA realizó el Inventario Nacional de Areas Erosionadas, usando la clasificación de erosión propuesta por la FAO-UNESCO en 1954. Los resultados obtenidos se presentan en el Cuadro 2. El total de la superficie nacional afectada por alguna clase de erosión asciende a 155,569,943 ha, el resto de la superficie del país corresponde a áreas urbanas, cuerpos de agua y superficie con erosión no manifiesta.

Si consideramos la definición de la clase de erosión (Cuadro 3), podemos calcular el porcentaje medio de la capa del suelo superficial que se pierde en cada una de las cinco clases, mediante el siguiente procedimiento:

Cuadro 1. Pérdidas de suelo evaluadas en lotes de escurrimiento.

Localidad	Año	Pérdida de suelo ton/ha/año	
		Suelo desnudo	Cultivado con maíz
Las Ollas, Chis.	1980	8.9	0.9
Las Ollas, Chis.	1981	41.2	3.8
Lagunillas, Nay.	1981	28.9	3.5
Pátzcuaro, Mich.	1984	41.4	4.7

Clase A.

Si ha perdido menos del 25% de la capa del suelo superficial, quiere decir que el valor medio es 12.5%. Por otra parte, si admite un 10% de su superficie total con erosión B o C, quiere decir que el valor medio es de 5%. Por último, la clase B pierde del 25 al 75% de la capa superficial, y la clase C pierde del 75 al 100%, el valor medio de estos valores es 68.75%, cifra que se debe asignar como valor medio de las clases B o C. Para calcular el porcentaje medio de la capa del suelo superficial que se pierde en la clase A, se pondera por el porcentaje de la superficie total que ocupa la clase de erosión, en este caso, la clase A ocupa el 95% de la superficie total, y las clases B o C el 5%. Los cálculos correspondientes son:

$$12.5\% \text{ (pérdida de la capa superficial)} \times 0.95 \text{ (porcentaje de la superficie total)} \\ + 68.75\% \text{ (pérdida media de las clases B o C)} \times 0.05 \text{ (porcentaje de la superficie total)} \\ = 15.312\%.$$

Siguiendo el mismo procedimiento para las clases restantes se obtienen los siguientes valores:

$$\begin{aligned} \text{Clase A/B} & 12.5\% \times 0.825 + 68.75\% \times 0.175 = 22.344\% \\ \text{Clase B} & 50\% \times 0.95 + 50\% \times 0.05 = 50.0\% \\ \text{Clase B/C} & 50\% \times 0.825 + 50\% \times 0.175 = 50.0\% \\ \text{Clase C} & 87.5\% \times 0.875 + 31.25\% \times 0.125 = 80.469\% \end{aligned}$$

Estos porcentajes indican que, desde el punto de vista cuantitativo, las clases de erosión B y B/C, según la clasificación FAO-UNESCO, son iguales, pues pierden la misma cantidad de suelo superficial.

Para darnos una idea de la cantidad del suelo que se ha perdido en México, estos porcentajes deben ponderarse por la cantidad de hectáreas afectadas en cada una de las cinco clases de erosión (Cuadro 2), y después obtener una media ponderada. El valor obtenido es de 39.6% e indica que en promedio se ha perdido hasta la fecha, el 39.6% de la capa superficial de los suelos de México.

Recientemente, y haciendo uso de los aforos que realiza la SARH dentro de las regiones hidrológicas del país, la DGCSA estimó las pérdidas de suelo que ocurren en el país a nivel de subregiones hidrológicas. El estudio reveló que las subregiones Costa de Jalisco, Costa Grande, Costa Chica y Costa de Oaxaca, son las que presentan las pérdidas de suelo más altas del país, pues son superiores a 5 ton/ha/año. Las subregiones hidrológicas de la Costa de Chiapas, Coatzacoalcos y Grijalva-Usumacinta, presentan pérdidas de suelo de 4 a 5 ton/ha/año. En orden descendente les siguen las subregiones del Balsas, Papaloapan, Tuxpan-Nautla, Sinaloa y Huicicila en el estado de Jalisco, que pierden de 3 a 4 ton/ha/año. Las subregiones de Tehuantepec, Ameca y Armería-Coahuaya en Jalisco, Pánuco y Sonora Sur, pierden de 2 a 3 ton/ha/año. Las pérdidas de suelo de 1 a 2 ton/ha/año corresponden a las subregiones de Río

Cuadro 2. Superficie en hectáreas afectada por las diferentes clases de erosión.

Entidades	Area total	Erosión no manifiesta A	Erosión leve A/B	Erosión moderada B	Erosión severa B/C	Erosión muy severa C
Aguascalientes	558,900	65,093	63,856	188,446	179,101	17,782
Baja California Nte	7'011,300	1'227,787	1'438,572	2'326,279	1'831,567	162,056
Baja California Sur	7'366,700	484,762	1'607,809	2'522,074	2'218,989	355,241
Campeche	5'183,300	4'579,323	565,964	-	-	-
Coahuila	15'157,837	356,248	7'049,180	6'344,153	1'228,567	97,158
Colima	545,500	87,969	344,923	96,935	-	-
Chiapas	7'388,700	4'556,942	2'124,444	477,407	64,284	-
Chihuahua	24'708,700	4'427,272	4'250,231	13'187,688	2'108,982	680,766
Distrito Federal	149,900	26,834	61,576	12,450	1,430	-
Durango	11'964,800	1'170,313	4'078,912	5'511,612	862,760	298,345
Guanajuato	3'058,900	1'026,999	505,825	873,749	382,783	217,892
Guerrero	6'379,400	1'255,310	1'978,402	2'500,379	559,695	-
Hidalgo	2'098,700	503,344	746,188	669,937	147,917	19,799
Jalisco	8'013,700	1'048,325	3'318,745	2'101,893	1'319,989	67,004
México	2'146,100	510,076	906,235	642,674	30,814	6,720
Michoacán	5'986,400	1'241,492	2'246,810	1'911,980	440,958	-
Morelos	494,100	90,857	253,623	117,784	23,353	-
Nayarit	2'762,100	818,448	1'218,851	607,053	76,152	6,574
Nuevo León	6'455,500	194,344	1'004,370	4'373,708	809,075	49,649
Oaxaca ¹	9'421,100	1'413,165	1'413,165	1'884,220	1'884,220	2'826,330
Puebla	3'391,900	102,094	1'922,848	850,584	357,243	131,463
Querétaro	1'176,900	197,300	344,955	321,974	287,800	17,600
Quintana Roo ¹	5'035,000	1'611,200	1'913,300	503,500	251,750	755,250
San Luis Potosí	6'284,800	1'145,199	1'666,464	2'810,533	575,241	31,857
Sinaloa	5'809,200	1'159,800	1'058,028	2'476,159	1'065,973	3,518
Sonora	18'493,400	1'646,828	2'507,527	10'869,618	3'254,781	166,168
Tabasco	2'403,807	1'593,779	596,298	92,750	12,062	-
Tamaulipas ¹	7'960,200	2'228,856	796,020	2'388,060	1'353,234	1'194,030
Tlaxcala	391,400	16,627	70,645	209,207	77,346	9,596
Veracruz	7'281,500	3'603,608	3'461,667	96,239	1,806	945
Yucatán ¹	3'850,800	577,620	192,540	1'193,748	192,540	1'694,352
Zacatecas	7'345,400	37,249	1'000,285	4'189,480	1'936,378	162,527
Totales	196'718,300	39'055,063	50'708,258	72'352,273	23'536,790	8'972,622

Nota: La diferencia del total del estado corresponde a ciudades y cuerpos de agua.

¹ Superficies estimadas.

Colorado, Presidio-San Pedro en Nayarit, Lerma-Santiago y San Fernando-Soto La Marina. Por último, las subregiones de Baja California Noroeste, Sonora Norte, Cuencas Cerradas del Norte y Río Bravo, pierden menos de una ton/ha/año. Conviene aclarar que estos valores indican la cantidad promedio de suelo que sale de las subregiones en suspensión con el agua, pues hubo valores extremos en algunos años y subregiones hidrológicas que alcanzaron cifras superiores a 50 ton/ha/año.

En relación con la pérdida de suelo promedio para la República Mexicana, el estudio reveló que a nivel nacional se pierden 2.764 ton/ha/año. Por lo tanto, si a la superficie total del país (196'718,300 ha) se le resta la superficie ocupada por áreas urbanas y cuerpos de agua (3'076,422 ha), obtenemos la superficie que es responsable de la producción de sedimentos a nivel nacional (193'641,878 ha). Considerando la pérdida de suelo promedio de 2.764 ton/ha/año y la superficie productora de sedimentos, se obtiene un total de 535'226,151 ton de sedimentos al año, de los cuales el 69%

(369'306,044 ton) descarga al mar, y el 31% restante (165'920,107 ton) se deposita en las obras de almacenamiento de agua del país.

Manejando un peso específico de 1.1 g/cm³ para los sedimentos, el volumen depositado en las obras de almacenamiento asciende a la cifra de 150'836,461 m³ de azolve. Este volumen representa el 0.13% de la capacidad de almacenamiento del país (112,744.8 millones de metros cúbicos).

Estudios adicionales sobre las pérdidas de suelo se realizaron en el Colegio de Postgraduados de Chapingo, México. En 1975, Figueroa publicó la información que se presenta en el Cuadro 4. Las pérdidas de suelo se cuantificaron en lotes de escurrimiento de 2x25 m, ubicados dentro de la Cuenca del Río Texcoco.

La pérdida de suelo promedio para la cuenca del Río Texcoco es de 3,407 kg/ha/año. Esta cifra se obtuvo ponderando las pérdidas de suelo ocurridas en los diferentes ecosistemas, por el área ocupada dentro de la cuenca.

Cuadro 3. Clasificación FAO-UNESCO de Areas Erosionadas (1954).

Clase de erosión	Definición
A	Aquel que ha perdido menos del 25% de la capa del suelo superficial, pero que admite un 10% de su superficie total con grado de erosión B o C.
A/B	Aquel que ha perdido menos del 25% de la capa del suelo superficial, pero que tiene de un 10 a un 25% de su superficie total con grado de erosión B o C.
B	Aquel que ha perdido del 25 al 75% de la capa del suelo superficial, pero que admite 10% de su superficie total con grado de erosión A o C.
B/C	Aquel que ha perdido del 25% al 75% de la capa del suelo superficial, pero que tiene de un 10 a un 25% de su superficie total con grado de erosión A o C.
C	Aquel que ha perdido más del 75% de la capa del suelo superficial, pero que admite un 25% de su superficie total con grado de erosión A o B.

En 1978, Trueba evaluó las pérdidas de suelo en terrenos agrícolas de Chapingo, México. En su investigación utilizó parcelas de 7,030 m² sembradas con maíz, y los resultados obtenidos se presentan en el Cuadro 5.

Por último, en el año de 1977 Trujillo investigó el efecto de las prácticas vegetativas sobre la reducción de las pérdidas de suelo.

Cuadro 4. Pérdidas de suelo ocurridas en diferentes ecosistemas de la Cuenca del Río Texcoco.

Ecosistemas	Suelo perdido kg/ha/año	Area de la cuenca ocupada por el ecosistema ha
Bosque de pino	10	522
Zacatonales	43	51.9
Bosque de oyamel	5	462.5
Zona de cultivo alta	3059	35
Tepetates	16078	524
Pastizales	665	247
Bosque de encino	17	335
Zona de cultivo baja	1622	724.3

Para desarrollar esta investigación instaló lotes de escurrimiento de 1x10 m en diferentes sitios experimentales de Chapingo, México. Los resultados que obtuvo se muestran en el Cuadro 6 (Trujillo, —).

REDUCCION DE LA PRODUCTIVIDAD DEL SUELO

Al ocurrir la pérdida del suelo automáticamente se presenta la reducción de la productividad del mismo. Aunque ésta es difícil de evaluar, pues varía de sitio a sitio, y es función del tipo y profundidad del suelo y de las condiciones climáticas, el Servicio de Conservación de Suelos de los Estados Unidos de América (SCS, 1977) ha reportado en forma general los datos que se presentan en el Cuadro 7.

Cuadro 5. Pérdidas de suelo ocurridas en diferentes prácticas de conservación del suelo.

Práctica	Pérdida de suelo	
	1976	1977
	kg/ha/año	
Testigo	400	488
Surcado al contorno	357	433
Terraza de base angosta (SARH)	292	339
Terraza de base angosta (CP)	273	345
Terraza de banco	58	70

Cuadro 6. Pérdidas de suelo ocurridas en diferentes prácticas vegetativas de conservación del suelo.

Práctica	Pérdidas de suelo		
	Maíz	Maíz-frijol	Cebada
	kg/ha/año		
Labranza tradicional	4784	3352	2593
Labranza mínima	2455	3105	2070
Adición de 3 ton de estiércol	3006	2111	2375
Adición de 3 ton de rastrojo de maíz	1967	1421	1339
Adición de 6 ton de rastrojo de maíz	863	826	741

Cuadro 7. Reducción de la productividad del suelo al ocurrir la erosión.

Pérdida de suelo cm	Pérdida de suelo ¹ ton/ha	Reducción de la producción %
5.08	635	15
10.16	1270	22
15.24	1905	30
20.54	2565	41
25.40	3175	57
30.40	3800	75

¹ Considerando una densidad aparente de 1.25 g/cm³. SCS, 1977.

Si graficamos estos valores como se indica en la Figura 1 y prolongamos la curva más allá de 30.4 cm de suelo perdido, que corresponde a una reducción de la productividad del suelo del 75%, hasta el 100% de reducción de la productividad, encontramos que este suelo tiene un espesor productivo de 37.03 centímetros.

Recordando que la clasificación FAO-UNESCO de Areas Erosionadas (1954) está basada en el porcentaje perdido de la capa del suelo superficial, y que los porcentajes medios de las cinco clases de erosión son 12.5, 25.0, 50.0, 75.0 y 87.5% de la capa del suelo superficial, respectivamente, podemos calcular en la gráfica de la Figura 1 la reducción de la productividad del suelo que corresponde a cada uno de estos porcentajes medios de pérdida de suelo. Los valores correspondientes son (véase Figura 1):

para 12.5% de suelo perdido, 14.5% de productividad;

para 50.0% de suelo perdido, 36.0% de productividad;

para 87.5% de suelo perdido, 82.5% de productividad.

Si bien es cierto que estos datos son muy generales, podemos manejarlos como cifras probables para estimar la reducción de la productividad que ha habido en los suelos de México, como consecuencia de la erosión.

Basándonos en la descripción que se hizo anteriormente para calcular el porcentaje medio de la capa del suelo superficial perdido en cada una de las cinco clases de erosión, se calculó la reducción de la productividad del suelo para cada una de las clases de erosión. Los resultados son los siguientes:

$$\text{Clase A} = 14.5\% \times 0.95 + 59.25\% \times 0.05 = 16.737\%$$

$$\text{Clase A/B} = 14.5\% \times 0.825 + 59.25\% \times 0.175 = 22.331\%$$

$$\text{Clase B} = 36.0\% \times 0.95 + 48.5\% \times 0.05 = 36.625\%$$

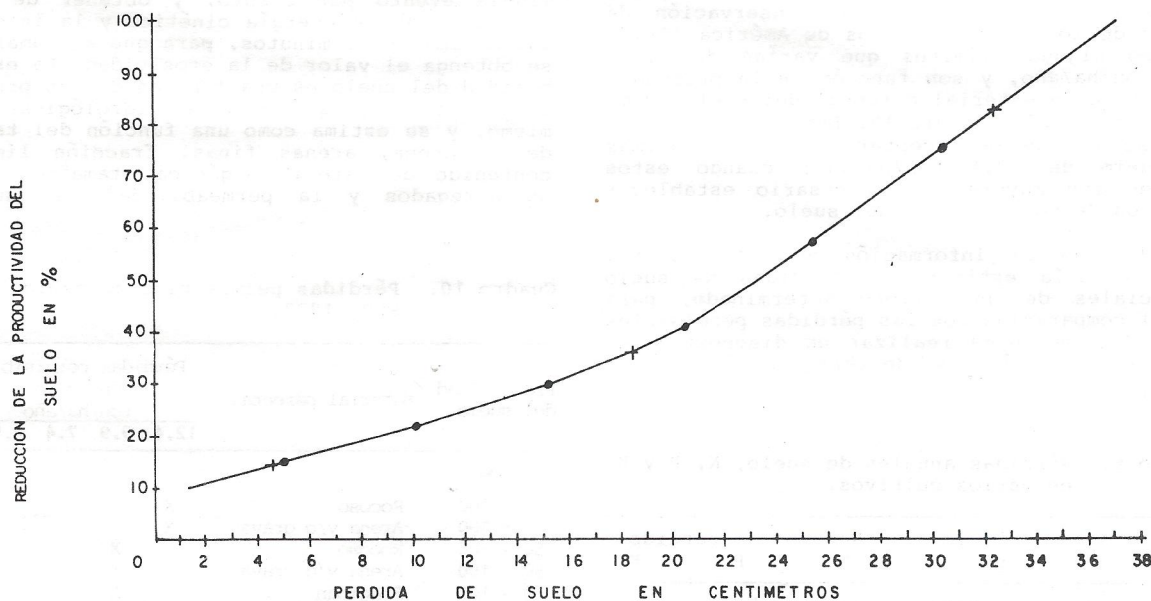
$$\text{Clase B/C} = 36.0\% \times 0.825 + 48.5\% \times 0.175 = 38.187\%$$

$$\text{Clase C} = 82.5\% \times 0.875 + 25.25\% \times 0.125 = 75.344\%$$

Ponderando estos valores por la cantidad de hectáreas afectadas en cada clase de erosión (Cuadro 2), obtenemos que a nivel nacional ha habido una reducción de la productividad de los suelos del 33.03%.

PERDIDAS DE NUTRIMENTOS

Debido a que los nutrientes se encuentran adsorbidos en las partículas del suelo, éstos se pierden cuando hay erosión. Por otra parte, la pérdida de los nutrientes en solución también es importante, especialmente porque es en esta forma como son absorbidos por las plantas.



- Puntos que relacionan la pérdida de suelo en cm con la reducción de la productividad del suelo en porcentaje.
- + Puntos que corresponden al 12.5, 50 y 87.5% del suelo graficado que tiene un espesor productivo de 37.03 cm.

Figura 1. Reducción de la productividad del suelo al ocurrir la erosión. SCS, 1977.

Algunos estudios realizados sobre este tema se muestran en el Cuadro 8. Las primeras cinco hileras fueron obtenidas por Burwell et al. (1975) en trabajos realizados durante el período de 1962 a 1971. Las dos últimas hileras fueron obtenidas por la extinta DGCSA en el año de 1981.

Dependiendo de la región agrícola que se trate, podría considerarse que las pérdidas de nutrientes por la erosión representa un pequeño porcentaje de las fertilizaciones normales que se hacen, sin embargo, al ocurrir una reducción de los nutrimentos, también se pierde la materia orgánica y la fracción húmica provocando que se reduzca la fertilidad, cambie el estado de agregación de los suelos, se modifique la relación precipitación-escorrentía y la resistencia de las partículas del suelo a la remoción. Analizando datos de las pérdidas de suelo en la región del Altiplano Chiapaneco, se encontró que las pérdidas de materia orgánica en una región recientemente desmontada, variaba de acuerdo al uso del suelo y era del orden de 0.17 a 2.0 ton/ha/año (véase Cuadro 9).

PERDIDAS PERMISIBLES DE SUELO

Debe entenderse como pérdidas permisibles de suelo, al máximo nivel de erosión que permita un alto nivel de productividad de los cultivos para que sea sostenido en forma económica e indefinida. Bajo estos conceptos, sólo se debe permitir perder el suelo que en condiciones naturales se está formando. Para establecer un criterio de las pérdidas de suelo permisibles, el Servicio de Conservación de Suelos de los Estados Unidos de América (1977) propuso algunos límites que varían de 2.5 a 12.4 ton/ha/año, y son función de la profundidad y tipo de material parental del suelo, como se muestra en el Cuadro 10. Este cuadro indica que sólo podemos aceptar pérdidas máximas de suelo de 12.4 ton/ha/año; cuando estos valores son mayores, es necesario establecer trabajos de conservación del suelo.

Considerando la información de este cuadro, sólo restaría estimar las pérdidas de suelo potenciales de un terreno determinado, para que al compararlas con las pérdidas permisibles de suelo, se pueda realizar un diagnóstico de los tipos de prácticas de conservación a esta-

Cuadro 8. Pérdidas anuales de suelo, N, P y K en varios cultivos.

Rotación	Suelo perdido ton/ha	Nutrimento perdido		
		N kg	P kg	K kg
Barbecho	37.00	150.20	33.33	8.51
Maíz continuo	16.47	77.90	18.61	3.79
Maíz-rotación	7.54	35.97	8.67	1.88
Avena-rotación	4.35	23.58	5.26	1.96
Heno-rotación	0.02	4.10	0.68	4.56
Barbecho	40.00	110.00	2.00	42.00
Maíz	6.00	10.00	5.00	70.00

Cuadro 9. Pérdidas de suelo y su relación con las pérdidas de materia orgánica.

Criterio	Pérdida de suelo	Materia orgánica	Materia orgánica
	ton/ha/año	%	ton/ha/año
Barbecho	40.0	5.49	2.0
Maíz	6.0	2.82	0.17

DGCSA, 1981.

blecer o el manejo del suelo y la vegetación a realizar.

PERDIDAS DE SUELO POTENCIALES

La estimación de las pérdidas de suelo potenciales puede obtenerse con el uso de la Ecuación Universal de Pérdidas de Suelo (EUPS) de la siguiente forma:

$$E = R K L S$$

donde:

- E = pérdidas de suelo potenciales (ton/ha/año)
- R = erosividad de la lluvia (megajoules mm/ha hr año)
- K = erodabilidad del suelo (ton hr/megajoules mm)
- L = longitud de la pendiente (m)
- S = grado de la pendiente (%)

Para estimar estas pérdidas de suelo potenciales, es necesario conocer la intensidad de la lluvia evento por evento, y obtener de cada una de ellas su energía cinética y la intensidad máxima en 30 minutos, para que al sumarlas, se obtenga el valor de la erosividad. La erodabilidad del suelo es una función de las propiedades físicas, químicas e hidrológicas del mismo, y se estima como una función del tamaño de la arena, arenas finas, fracción limosa, contenido de materia orgánica, tamaño y tipo de agregados y la permeabilidad del suelo.

Cuadro 10. Pérdidas permisibles de suelo. SCS, 1977.

Profundidad del suelo	Material parental	Pérdidas permisibles de suelo ton/ha/año				
		12.4	9.9	7.4	4.9	2.5
cm						
> 100	Rocoso					X
> 100	Arena y/o grava					X
50 - 100	Rocoso				X	
50 - 100	Arena y/o grava				X	
50 - 100	Fragipan				X	
50 - 100	Lecho arcilloso				X	
25 - 50	Arena y/o grava			X		
25 - 50	Rocoso					X
10 - 50	Lecho arcilloso			X		
< 50	Fragipan			X		
< 25	Rocoso					X
< 25	Arena y/o grava				X	
< 10	Lecho arcilloso					X

La longitud y el grado de pendiente se miden directamente en el campo o en planos topográficos. Para realizar esta estimación, se considera que el suelo se encuentra desprovisto de vegetación, sin prácticas de conservación del suelo y permanece continuamente barbechado. Obviamente, estos valores serán máximos y se pueden atenuar si se consideran los factores modificables como son el manejo del suelo y la vegetación.

IV EXPERIENCIAS EN EL CONTROL DE LA EROSION

El manejo del suelo y la vegetación son factores que logran atenuar las pérdidas de suelo potenciales de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$E = R K L S C P$$

donde:

E = R K L S, fueron previamente definidos

C = factor de cubierta vegetal

P = factor de manejo del terreno

Los valores de C y P en la EUPS son numéricos y pueden variar de 0 a 1. Cuando C es igual a 1 se considera que no existe vegetación y que el suelo se encuentra en barbecho continuo. A medida que aumenta la cobertura vegetal tanto en densidad como en frecuencia, este valor tiende a disminuir hasta 0.3 para el caso de maíz, 0.003 para pastizales y 0.001 para el bosque de encino, como se muestra en el Cuadro 11. Algunos valores de C para otros tipos de vegetación o asociaciones de cultivos obtenidos en México y en otros partes del mundo también se muestran en el Cuadro 11.

El manejo del terreno (factor P) atenúa el proceso erosivo y como su valor es multiplicativo, su efecto es nulo cuando no hay prácticas de conservación. Al existir prácticas como surcado al contorno P es igual a 0.89 y tiende a disminuir hasta 0.14 cuando se utilizan las terrazas de banco. Cabe aclarar que estos valores de P cambian con la pendiente dominante del terreno; sin embargo, en forma general se pueden dar algunos valores de P para diferentes prácticas de conservación como los que aparecen en el Cuadro 12.

Cuadro 11. Valores del Factor C para diferentes coberturas vegetales.

Cobertura vegetal	Valor de C
Suelo desnudo	1.00
Tepetate	0.59
Bosque de encino	0.001
Pastizal	0.003
Pastizal degradado	0.22
Sabana	0.01
Maíz-sorgo	0.1-0.9
Tabaco-algodón	0.05
Café-palma	0.1-0.3
Cebada	0.2
Papa-col	0.3

Roose (1975), Terrazas (1977), CP (1981), y DGCSA (1981).

Cuadro 12. Valores numéricos del factor de prácticas mecánicas (P) de la EUPS.

Tipo de obra	Valor de P ¹
Surcado perpendicular a la pendiente principal del terreno	1.00
Surcado al contorno	0.89
Terraza de base ancha	0.27
Terraza de base angosta (CP)	0.68
Terraza de base angosta (SARH)	0.70
Terraza de contrapendiente	0.18
Terraza de canal amplio	0.40
Terraza de banco	0.14

¹ Estos valores son aceptados para una pendiente del 5% y consideran algunos tipos de terrazas con surcado al contorno. Arnoldus (1977), Trueba (1978), CP (1981).

De acuerdo con la información presentada en los Cuadros 11 y 12, las prácticas vegetativas son más eficientes que las mecánicas, consecuentemente, un efecto combinado de las prácticas mecánicas y vegetativas, ya sea con cultivos que protegen al suelo o con manejo de residuos de cosecha, podrán reducir al máximo las pérdidas de suelo hasta valores menores que las pérdidas máximas permisibles, no importando que el potencial erosivo de la región sea muy alto.

Un ejemplo de aplicación de la EUPS se presenta a continuación. De acuerdo con la información existente en la cuenca del Río Texcoco (lote de Nativitas) para el año de 1981, el valor del factor erosividad (R) estimado fue de 3,906.27 megajoules mm/ha hr/año, el valor del factor de erodabilidad (K) fue de 0.022 ton hr/megajoules mm y el de LS fue de 0.145 ya que la pendiente del terreno es de 3% y la longitud de 25 m. Utilizando la ecuación se obtiene que las pérdidas de suelo potenciales son de 12.46 ton/ha/año. Si consideramos que esos suelos son someros con profundidad menor de 50 cm, y utilizamos el Cuadro 10, obtenemos que las pérdidas de suelo permisibles son de 4.9 ton/ha/año. Al comparar estos valores se obtiene que potencialmente existió una degradación del suelo de 7.56 ton/ha en 1982; para reducir estas pérdidas se tiene que tomar la decisión del cultivo por utilizar. En el caso de sembrar maíz el factor C sería de 0.5 (promedio) y si no se realiza alguna práctica mecánica de conservación el valor de P sería de 1.0 de tal forma que las pérdidas de suelo se reducen hasta 6.23 ton/ha, pero sigue existiendo una degradación de 1.33 ton/ha para ese año. Si el maíz se combina con surcado al contorno (C=0.5 y P=0.89) las pérdidas serían igual a 5.54 ton/ha, y serían un poco mayores que las permisibles de 4.9 ton/ha. Ahora, si se cambia el cultivo de maíz por el de cebada, el valor de C se reduce de 0.5 a 0.2, y si el de P permanece como 1, las pérdidas de suelo esperadas serían de 2.49 ton/ha/año, y menores que las permisibles. Consecuentemente, el cambio de uso del suelo sería más recomendable que la misma práctica mecánica, evitándose con esto las inversiones que se requieran en los sistemas con terrazas (véase Cuadro 13).

Cuadro 13. Criterios para la planeación de prácticas de Conservación del Suelo y Agua. Cuenca del Río Texcoco, Lote Nativitas. 1981.

Uso del terreno	Potencial erosivo ¹		C P		Pérdidas de suelo	Degradación
	ton/ha/año				ton/ha/año	
Terreno barbechado	12.46	1.0	1.0	1.0	12.46	7.56
Maíz	12.46	0.5	1.0	6.23		1.33
Maíz más surcado al contorno	12.46	0.5	0.89	5.54		0.64
Maíz más terrazas de base angosta	12.46	0.5	0.68	4.24		-
Cebada	12.46	0.2	1.0	2.49		-

Pérdida máxima permisible 4.9 ton/ha/año.

$$^1 \text{Potencial erosivo} = E = R K L S$$

$$E = 3906.27 \times 0.022 \times 0.145 = 12.46 \text{ ton/ha/año.}$$

Este ejemplo explica claramente como la EUPS puede utilizarse para la planeación de prácticas de conservación del suelo y del agua; sin embargo, debe entenderse que es necesario generar más información para poder determinar a nivel de área de trabajo, el riesgo de erosión potencial en base a la EUPS y determinar la eficiencia de la práctica vegetativa y mecánica para disminuir el proceso o minimizarlo. Asimismo, debe considerarse que la EUPS incluye al factor estocástico erosividad de la lluvia, donde el azar juega un papel importante, de tal manera que la selección de las prácticas de conservación podrían ser más eficientes un año determinado, y al próximo podría existir una degradación del suelo. Esto indica que la erosividad de la lluvia debe considerarse bajo diferentes riesgos o períodos de retorno, para conocer la periodicidad con que se presentará una precipitación altamente erosiva.

V. TRABAJOS DE CONSERVACION DE SUELOS EN MEXICO

En México, la extinta Dirección General de Conservación del Suelo y Agua estableció prácticas de Conservación de Suelos a partir del año 1947. El Cuadro 14 presenta el presupuesto ejercido y las hectáreas beneficiadas con prácticas de conservación del suelo y agua. Adicionalmente a esta superficie beneficiada, se han construido también prácticas que no se estiman en hectáreas, como son los abrevaderos, bordería y presas para controlar azolves.

Durante el período 1946-1982, la extinta DGCSA trabajó principalmente en el establecimiento de terrazas de formación sucesiva y presas para el control de azolves. El establecimiento de estas prácticas ha sido producto de las solicitudes o definiciones técnicas de las necesidades de prácticas de conservación. Sin embargo, en muchos de estos casos se debe analizar si el sitio elegido para el establecimiento fue el más adecuado, si la práctica

establecida fue aceptada por el productor, si la práctica fue eficiente o si la inversión podrá recuperarse a través del tiempo.

Paralelamente a las actividades de la extinta DGCSA, otras instituciones federales y estatales han establecido prácticas de conservación del suelo a través de todo el país, aunque no se sabe con exactitud cual ha sido la magnitud de la superficie beneficiada.

Es conveniente mencionar que el marco de referencia usado para decidir el establecimiento de prácticas de conservación del suelo, ha sido principalmente el que comprende el entorno de los productores agrícolas, y sólo ocasionalmente se ha tomado el entorno hidrológico de las cuencas. Esto quiere decir que los trabajos para reducir la erosión en México, han sido establecidos principalmente en las parcelas de los productores agrícolas, y sólo en contadas ocasiones se han establecido en los sitios que más los requiere la cuenca hidrológica.

VI PERSPECTIVAS EN EL CONTROL DE LA EROSION EN MEXICO

Para percibir las perspectivas que se tienen en el control de la erosión, usando la tecnología de la extinta DGCSA, es necesario considerar la magnitud del problema de la erosión en México y el ritmo de avance que tiene la SARH año con año. Las estimaciones para combatir la erosión del país se realizaron sobre las necesidades de tiempo y presupuesto. Tomando como base el programa establecido por la extinta DGCSA en 1983, en el cual se ejerció un presupuesto de 2,761 millones de pesos y se logró proteger de la erosión a 122,887 hectáreas, además de construir abrevaderos y bordos de almacenamiento con una capacidad de 20 millones de metros cúbicos, se estimó que para proteger los 157 millones de hectáreas que actualmente evidencian algún problema de erosión, al ritmo de avances logrado en 1983, se necesitarían más de mil años de trabajo ininterrumpido. Por otra parte, si se fijara como meta proteger esa misma superficie en el sexenio 1983-1988, se requeriría de un presupuesto anual de 3 billones 145 mil 478 millones de pesos.

Cuadro 14. Presupuesto ejercido y superficie beneficiada con prácticas de Conservación del suelo, por la Secretaría encargada del despacho de los asuntos agrícolas.

Sexenio	Presupuesto	Hectáreas	Hectáreas acumuladas
1947-1952	9'246,594	249,636	249,636
1953-1958	17'577,430	55,774	305,410
1959-1964	35'026,777	254,343	559,753
1965-1970	95'657,003	310,656	870,409
1971-1976	1 029'757,290	657,102	1'527,511
1977-1982	5 815'741,751	1'735,934	3'263,445

Analizando los planteamientos presentados, es evidente que ninguna de las dos estrategias, ni la de participación en el tiempo ni la de incrementos presupuestales, es una buena solución. Esto crea la necesidad de proponer una estrategia diferente a la que actualmente se realiza, que no involucre períodos de tiempo inalcanzables y presupuestos excesivos que hagan de los programas de Conservación del Suelo una real utopía.

VII ANALISIS DE LA INFORMACION Y DEFINICION DEL PROBLEMA

PERDIDAS DE SUELO

Las cifras que se han reportado en el capítulo III bajo el subtítulo de PERDIDAS DE SUELO, indican que en parcelas sembradas con maíz (cultivo más común en México), las pérdidas de suelo variaron de 0.9 hasta 4.7 ton/ha/año en lotes de 2x25 m (DGCSA, 1981). Cuando el tamaño de la parcela experimental aumentó a 7,030 m², las pérdidas de suelo fueron del orden de 450 kg/ha/año (Trueba, 1978). Por último, cuando el tamaño de la parcela fue de 1x10 m, las pérdidas de suelo fueron de 4,784 kg/ha/año.

Las diferencias presentadas en las cantidades de suelo perdido se explican por el tamaño de la parcela experimental, pues Gottschalk (1954) encontró que la magnitud de la erosión disminuye conforme aumenta el área de la cuenca.

Comparando esta información con las PERDIDAS PERMISIBLES DE SUELO presentadas en el Cuadro 10, se vislumbra la posibilidad de que la erosión no es problema en los terrenos cultivados.

Con la idea de ampliar el análisis de las pérdidas de suelo en México, se hizo uso de las estimaciones realizadas por la extinta DGCSA sobre las pérdidas de suelo a nivel de subregiones hidrológicas. En el Cuadro 15 se presenta la degradación específica en ton/ha/año de 27 subregiones del país.

Para realizar una interpretación adecuada de las cifras reportadas en la columna de degradación específica, utilizaremos el criterio de Morgan (1984) sobre la pérdida permisible en áreas mayores de 10 km², la cual asciende a 2 ton/ha/año. Otro criterio útil para esta interpretación es el de Douglas (1967), pues estima que el valor de 2 ton/ha/año es un valor aceptable de erosión para un bosque tropical lluvioso. Las comparaciones de la degradación específica con las pérdidas permisibles, indican que a nivel nacional se rebaza el límite permisible de degradación de suelos en 764 kg/ha. En forma más específica, sólo las subregiones hidrológicas del norte de México presentan degradaciones tolerables, mientras que el resto debe someterse a medidas correctivas.

Si usamos a las subregiones hidrológicas como marco de referencia para plantear el problema de la erosión en México, los análisis y deduc-

ciones que nos marquen la pauta para resolver los problemas de erosión a nivel de cuenca, partirían del conocimiento de los factores responsables de la erosión. Se ha observado que estos factores dependen del tamaño del área que se está considerando. Para áreas menores de 1 ha, los factores que más influyen en la producción de sedimentos son la energía de la precipitación pluvial y la cobertura vegetal, en tanto que para cuencas de unos 15,000 km², el escurrimiento es el factor más importante (McGuinness et al., 1971). Es decir, si se desea reducir la erosión a nivel de cuenca o subregión hidrológica, es necesario disminuir los escurrimientos, ya sea por infiltración para recarga de acuíferos, o bien mediante su almacenamiento en sitios adecuados. Tal acción provocaría la disminución de los escurrimientos y consecuentemente la reducción de la erosión en la cuenca.

Regresando a la información presentada en el Cuadro 15, la columna nominada como Criterio del SCS-USDA se calculó considerando la Tasa de Descarga de Sedimentos de las cuencas.

Cuadro 15. Degradación específica para diferentes subregiones hidrológicas del país.

Subregión	Degradación específica	Criterio del SCS-USDA	Criterio de Gottschalk
	ton/ha/año		
Baja California Noroeste (Ensenada)	0.533	0.03	2.214
Río Colorado	1.263	21.41	5.246
Sonora Norte	0.882	14.95	3.664
Sonora Sur	2.896	49.08	12.030
Sinaloa	3.468	58.78	14.406
Presidio-San Pedro	1.128	19.12	4.686
Lerma-Santiago	1.861	31.54	7.730
Huicicila	3.794	64.31	15.760
Ameca	2.661	45.10	11.053
Costa de Jalisco	7.434	126.00	30.880
Armería-Coahuayana	2.482	42.07	10.310
Balsas	3.983	67.51	16.545
Costa Grande	5.130	86.95	21.309
Costa Chica-Río Verde	5.707	96.73	23.706
Costa de Oaxaca	5.089	86.25	21.140
Tehuantepec	2.124	36.00	8.823
Costa de Chiapas	4.584	77.69	19.041
Río Bravo	0.176	2.98	0.731
San Fernando-Soto la Marina	1.033	17.51	4.291
Pánuco	2.274	38.54	9.446
Tuxpan-Nautla	3.080	52.20	12.794
Papaloapan	3.229	54.73	13.413
Coatzacoalcos	4.073	69.03	16.919
Grijalva-Usumacinta	4.671	79.17	19.403
Cuencas Cerradas del Norte (Casas Gdes)	0.230	3.90	0.955
Nazas-Aguanaval	0.668	11.32	2.775
El Salado	0.169	2.86	0.702
Valor medio	2.764	46.85	11.480

La Tasa de Descarga de Sedimentos es la fracción de erosión bruta que se espera descargar en el punto de la zona de drenaje bajo consideración. La producción de sedimentos se obtiene multiplicando la erosión bruta por la Tasa de Descarga. La erosión bruta incluye la erosión interarroyuelos, en arroyuelos, en cárcavas y en corrientes. La Tasa de Descarga de Sedimentos depende principalmente del tamaño del área de drenaje y en forma secundaria de las características de la cuenca, como son las tasas de relieve, longitud de la corriente, tasas de bifurcación, fuente de sedimentos, proximidad a la corriente, sistema de transporte y la textura del material erosionado (Strahler, 1964; Renfro, 1975).

En base a estas experiencias, el Servicio de Conservación de Suelos de los Estados Unidos (1971) preparó el Cuadro 16 sobre Tasas de Descarga de Sedimentos en cuencas hidrológicas.

Considerando que la subregión hidrológica Río Colorado es la más pequeña (3,306 km²), se decidió usar el valor de 0.059 para calcular la erosión bruta. La columna Criterio del SCS-USDA se obtuvo al dividir cada uno de los valores de la degradación específica entre 0.059. Las cifras obtenidas indican la erosión bruta presentada en áreas pequeñas. Aunque no se sabe la magnitud, se puede suponer que son valores adaptables a parcelas con una superficie cercana a una hectárea. Si comparamos estas pérdidas con las permisibles (Cuadro 10), se observa que la erosión estimada con este criterio es muy elevada, pues la media nacional asciende a 46.85 ton/ha/año y la máxima permisible que se acepta en el mejor de los casos, es la de 12.4 ton/ha/año para un suelo con material parental rocoso y profundidad del suelo >100 cm. Si usamos los valores estimados bajo este criterio, como las pérdidas de suelo ocurridas en las parcelas de los productores agrícolas, es evidente que en el país se presenta una erosión muy severa que debe corregirse lo más rápido posible.

Refiriéndose a la columna del Cuadro 15, nominada como Criterio de Gottschalk, ésta se calculó en base a la gráfica que elaboró Trueba (1978) con la información de Gottschalk (1954) sobre "Azolves de Almacénamientos". Haciendo uso de esta gráfica, se calculó que el factor multiplicativo a usarse en la estimación de las pérdidas de suelo dentro de las subregiones hidrológicas, en una superficie equivalente a un lote de escurrimiento de 2x25 m, es el de 4.149. Comparando cada uno de los valores de la columna Criterio de Gottschalk con las pérdidas permisibles de suelo, podemos inferir que bajo este criterio, un gran porcentaje de las subregiones se podría calificar como carente de problemas de erosión. Sin embargo, si se tomara la media nacional de 11.48 ton/ha/año, resultaría que está ocurriendo una degradación permanente de los suelos del país, pues esta cifra está muy cercana al límite máximo permisible (Cuadro 10) y sería ilógico pensar que todos los suelos del país tienen una profundidad mayor de 100 cm y un material parental formado de roca, arena o grava. Para complementar los análisis presentados, es conveniente considerar que la información re-

Cuadro 16. Tasas de Descarga de Sedimentos.

Área de drenaje	Tasa de descarga de sedimentos
km ²	
0.05	0.58
0.1	0.52
0.5	0.39
1	0.35
5	0.25
10	0.22
50	0.153
100	0.127
500	0.079
1000	0.059

portada en el Cuadro 15 puede sobreestimar los valores de la erosión a nivel parcela, pues ésta se obtuvo de cuencas muy grandes donde se presentan todos los tipos de erosión (laminar, interarroyuelos, arroyuelos, cárcavas y en corrientes), mientras que a nivel parcela únicamente se presenta la erosión laminar e interarroyuelos.

Algunos de los estudios que se han realizado sobre las pérdidas de suelo atribuibles a cada uno de los diferentes tipos de erosión, se presentan a continuación.

En relación a las pérdidas de suelo ocurridas en cárcavas, Piest et al. (1976) investigaron en la parte central de los Estados Unidos, que la erosión en los conductos de drenaje y en las cárcavas representaba aproximadamente el 50% de la erosión total de la cuenca acuífera. Por otra parte, Glymph (1957) reunió los aforos y estimaciones de 113 cuencas acuíferas en diversas partes de los Estados Unidos, encontrando que la erosión en tierras altas variaba del 11 al 100% de la producción de sedimentos y la erosión en cárcavas era de cero al 89% de la producción de sedimentos. En una muestra de 20 cuencas acuíferas, Striffler (1964) observó que las corrientes de las riberas contribuían aproximadamente al 33% de la carga total de sedimentos medida en las corrientes.

Las observaciones de Morgan (1977) mostraron que la erosión laminar es un proceso efectivo en grandes áreas de suelos arenosos con pendientes uniformes. Lo contrario ocurre en áreas pequeñas e irregulares, donde se forman los arroyuelos. También encontró que en suelos coherentes resistentes a la erosión por fragmentación o laminar, la erosión será debida principalmente a arroyuelos o cárcavas. Mosley (1974) demostró en el laboratorio que la erosión en un suelo arenoso-limoso ocurre sobre todo por la formación de arroyuelos.

Los arroyuelos y cárcavas se forman cuando la velocidad del flujo del agua aumenta a velocidades superiores a 30 cm por segundo (Ellison, 1974) y el flujo se vuelve turbulento. Este aumento de gradiente hidráulico puede deberse a varios motivos, por ejemplo, un aumento en el grado de la pendiente, un aumento en la intensidad de la precipitación pluvial o debido

a que se excede la deposición superficial y la incisión ocurre en el punto de flujo. La formación de arroyuelos o cárcavas probablemente depende tanto de los factores del suelo como de la velocidad y profundidad del flujo hídrico.

Los arroyuelos y cárcavas arrancan volúmenes mucho mayores de suelo por unidad de área que el deslave o erosión laminar. Por ejemplo, en las cuencas de loess del estado de Iowa, la erosión por cárcavas arrastró en un período de 31 días 343.8 y 358.9 kg/m² en cuencas diferentes (Spomer et al., 1971), mientras que la erosión por arroyuelos y laminar arrastró 24.9 y 68.9 kg/m².

Se ha observado que el transporte de sedimentos está determinado por el volumen de agua, el exceso de peso de los sólidos en un volumen similar de agua, la tasa media de pérdidas de energía potencial a medida que el flujo desciende en la pendiente por la gravedad y por la tasa de eficiencia del trabajo de transporte que realiza. Por lo general, la carga estimada es solamente un pequeño porcentaje de la capacidad de transporte de las pendientes moderadas (Foster y Meyer, 1972) debido a las restricciones en el arrastre (o sea, que la capacidad de transporte no es el factor limitante), pero si la carga sedimentaria excede la capacidad de transporte, habrá deposición de los sedimentos. Frecuentemente, la deposición proviene del allanamiento de las pendientes, la ampliación de la corriente, del canal o de los arroyuelos, el estancamiento (como en la sedimentación de depósitos), retardo del flujo por la vegetación y por las capas de materia orgánica y por pérdidas en la capacidad de transporte.

Otras investigaciones relacionadas con el tema indican que cuando las pendientes de las laderas tienen líneas de drenaje bien desarrolladas en forma de arroyuelos, ocurren cambios significativos en el aforo de los sedimentos procedentes de estas pendientes con las que no los tienen. En estas últimas se encuentran aforos mucho menores que en las primeras. Esto parece deberse a que la escorrentía canalizada tiene mucha mayor capacidad de desprendimiento que el flujo entre arroyuelos. Además, a medida que aumenta la densidad de los arroyuelos, aumenta el aforo de sedimentos. Este efecto probablemente se produzca por la mayor factibilidad de que los fragmentos del suelo dispersados entre los arroyuelos lleguen a un canal (Meyer et al., 1975).

Las observaciones superficiales indican que algunas partes de las cuencas de los ríos presentan abundantes cárcavas y las áreas adyacentes están relativamente intactas; pero las observaciones sistemáticas apoyan la proposición de que existen áreas parciales de aporte de sedimentos en todos los sistemas de canales. Por ejemplo, se ha observado que con un tamaño creciente de la cuenca, el aforo de sedimentos por unidad de área disminuye reflejando un aforo sedimentario específico, menor en las tierras bajas de la cuenca que en las altas.

Aunque se sabe poco sobre los aportes relativos de material en las pendientes con cárcavas y la erosión de los canales, la evidencia hace suponer (Anderson, 1954) que la erosión en las riberas del canal, puede proporcionar hasta una tercera parte de la carga sedimentaria total, mientras que en las áreas de arroyuelos y cárcavas, esto es mucho mayor debido al alto nivel de acoplamiento entre los surcos y las pendientes en estas áreas. Por lo tanto, las que contengan una alta densidad de desagües estarán perdiendo más sedimentos. Se supone que este problema es más agudo y se reconoce más fácilmente en zonas donde la formación de cárcavas es intensa.

Las cárcavas son dinámicamente similares a los pequeños canales de escorrentía, salvo por su flujo efímero y la aportación directa de material de las pendientes hacia el verdadero canal por derrumbe y arrastre. Se caracterizan por altos niveles de actividad dinámica y rápidos cambios de forma. Las cárcavas son perturbaciones que crecen y se agrandan por retroalimentación positiva hasta que quedan inhibidas, ya sea por la competencia por espacio o por exceso de producción de sedimentos.

Para controlar la erosión de las cárcavas, es conveniente considerar las escalas pertinentes de operación. Si se desea trabajar en las cuencas, se tiene que controlar la escorrentía. Si se desea controlar la cárcava, se tiene que proporcionar una forma estable. Las medidas de control a escala de cuenca hidrológica se concentran en reducir la escorrentía por el manejo de la tierra. Para el manejo de los escurrimientos, las cárcavas y los manantiales circundantes se tratan con capas protectores de pastos, árboles y combinaciones de ellos para aumentar la aspereza, reducir la velocidad de flujo e inducir la infiltración. Generalmente, el tratamiento se complementa construyendo diques en cada cárcava para los sedimentos, y con ello reducir la profundidad del canal y su pendiente (Miller et al., 1972).

De acuerdo con los conceptos vertidos en los últimos párrafos sobre la erosión producida por el flujo laminar y por las cárcavas, es válido concluir que el promedio de 2.764 ton/ha/año de degradación específica en México (Cuadro 15), es el resultado de la erosión ocurrida en las parcelas del agricultor, y de la erosión ocurrida en las cárcavas que actúan como drenaje natural de la cuenca. Estas experiencias permiten suponer que si las cárcavas aportan de un tercio a la mitad del suelo erosionado, la cantidad de suelo perdido que se debe asignar a las parcelas de los agricultores debe reducirse en los porcentajes citados. Por lo tanto, si se emplea el criterio del SCS-USDA del Cuadro 15, la erosión promedio en el país a nivel parcela debe oscilar de 23.42 a 31.23 ton/ha/año, cifra que resulta ser todavía elevada para la magnitud de las pérdidas permisibles. Sin embargo, si utilizamos el criterio de Gottschalk, la erosión promedio del país (11.48 ton/ha/año) se reduce notablemente, pues oscilaría de 5.74 a 7.65 ton/ha/año en las parcelas de los agricultores, lo cual indicaría que en muchas regiones del país se estaría dentro de los límites permisibles de pérdidas de suelo.

La corrección de los promedios nacionales de erosión se hizo por dos razones: (a) porque las pérdidas de suelo permisibles fueron calculadas para compararse con las pérdidas ocurridas en pequeñas parcelas o en lotes de escurrimiento, y (b) porque el combate que se está haciendo a la fecha de la erosión, consiste principalmente en el establecimiento de prácticas de conservación de suelos en las parcelas de los productores agrícolas, lo cual significa que se está tratando de reducir la erosión corregida por los porcentajes del 33 y 50.

REDUCCION DE LA PRODUCTIVIDAD DEL SUELO

Para involucrar en el análisis a la reducción de la productividad del suelo, comenzaremos por considerar las cifras anotadas en el Cuadro 7. En este cuadro se observa que es necesario perder 5.08 cm de suelo para tener una reducción de la productividad del suelo del 15%. Por lo tanto, si usamos al valor máximo de 31.23 ton/ha/año como la erosión ocurrida a nivel nacional en las parcelas de los agricultores, según el criterio del SCS-USDA, y transformamos este peso a lámina de suelo usando una densidad aparente de 1.25 ton/m³ de suelo, encontramos que este volumen erosionado equivale a una lámina de 2.5 mm de suelo. Bajo esta tasa de erosión, se necesitarán 20 años para que la productividad de los suelos del país se redujera en un 15%. Esta reducción resulta ser baja desde el punto de vista agrícola, pues si un productor obtiene alrededor de 1,000 kg de cosecha como promedio en un año dado, al cabo de 20 años estará obteniendo 850 kg de cosecha como promedio, cifra que no resultaría importante para el productor debido a la variación a que están sometidas sus cosechas, como producto de la variación del clima y a la oportunidad con que realice las labores agrícolas. Si ahora usamos el criterio de Gottschalk, y aceptamos como tasa de erosión promedio a 7.65 ton/ha/año, se estaría perdiendo anualmente una lámina de 0.612 mm de suelo. Bajo esta tasa de erosión se necesitarían 83 años para que la productividad del suelo se redujera en 15%. Desde el punto de vista agrícola y haciendo uso del ejemplo anterior, un productor que obtiene alrededor de 1,000 kg de cosecha como promedio en un año dado necesitaría esperar 83 años para que su cosecha promedio sea reducida hasta 850 kg/ha.

Ampliando esta manera de interpretación a la erosión evaluada por la DGCSA (1981) y por Trueba (1978), en donde encontraron pérdidas de suelo en sembradíos de maíz que variaban desde 0.9 hasta 4.7 ton/ha/año en lotes de 2x25 m y de 450 kg/ha/año en parcelas de 7,030 m², resultaría que se perderían 0.38, 0.07 y 0.04 mm de suelo con las tasas de erosión de 4.7, 0.9 y 0.45 ton/ha/año, respectivamente. El tiempo que necesita transcurrir para que un suelo pierda el 15% de su productividad asciende a 134,726 y 1,270 años, respectivamente. Estas cifras indican que un agricultor tendría poco interés en conservar su suelo, pues una reducción de la productividad del 15% resulta ser baja para él, y más cuando se necesitan muchos años para que ocurra.

DEFINICION DEL PROBLEMA

De acuerdo con la problemática de la erosión, los problemas que se detectan después de haber analizado la información son tres:

Problema ecológico. A nivel nacional, la tasa de erosión anual de 2.764 ton/ha/año rebaza las propuestas de pérdidas máximas permisibles a nivel de cuencas. Esto implica que desde el punto de vista ecológico, la degradación a que está sometido el suelo mexicano debe reducirse, pues los procesos de formación de los suelos no alcanzan a contrarrestar los procesos erosivos, trayendo como consecuencia el deterioro de los ecosistemas al reducirse la productividad del suelo y consecuentemente reducirse la producción de biomasa. De acuerdo a la información presentada en el Cuadro 15, no todas las subregiones presentarían el problema ecológico, pero si un buen porcentaje de ellas rebaza las pérdidas permisibles.

Problema agronómico. En primer lugar se ha encontrado que falta mucha precisión en las evaluaciones de la erosión, pues se tienen cifras con una gran variación. Por otra parte, es evidente que un gran número de subregiones presenta tasas de erosión superiores a las permisibles, por lo tanto, el problema se manifiesta como una falta de tecnología y/o infraestructura que permita reducir la erosión en un período de tiempo y con un presupuesto que sean aceptables, con lo cual disminuiría el problema del azolve en los almacenamientos de agua y en algunos drenajes de las áreas urbanas.

Problema agrícola. Desde el punto de vista de los agricultores, la erosión no es un problema agrícola, pues independientemente de las cantidades correctas de suelo perdido, el período de tiempo que se necesita para reducir la productividad de sus suelos en 15% o más, es muy grande. Esto implica que durante los años en que el agricultor cultiva sus parcelas, la reducción de la productividad del suelo la va a tomar como aceptable, pues únicamente considerará la degradación que ocurre durante el período en que él las explota.

VIII MARCO CONCEPTUAL PARA RESOLVER EL PROBLEMA

En el proceso de resolución del problema es necesario analizar: (a) la magnitud del problema, (b) los alcances de la solución, y (c) sus implicaciones.

El análisis empezará por el problema agrícola, pues es a este nivel donde participan directamente los productores agrícolas, y son ellos quienes a final de cuentas resultan ser el punto de atención de la Dirección General de Normatividad Agrícola.

Como quedó plasmado en la parte final del capítulo anterior, los agricultores no están interesados en el problema de la erosión porque no se ven afectados drásticamente. Obviamente, esta conclusión fue obtenida en base a estimaciones que partieron de un muestreo general, en donde la información utilizada representa

a las condiciones medias, y los valores extremos no fueron considerados. El panorama de la erosión en las parcelas de los agricultores se vuelve más notorio cuando se encuentran en el paisaje áreas totalmente erosionadas, en donde se ha perdido el 100% del suelo productivo. Sin embargo, esta situación no debe generalizarse porque solamente es un caso puntual o aislado, producto de la concentración de los escurrimientos en áreas específicas. El productor que resulta afectado por esta erosión evidentemente afrontará un problema agrícola incommensurable, pero este problema no debe tomarse como representativo del problema de la erosión en las parcelas de los productores, sino que debe ser atribuido a la concentración de grandes volúmenes de agua en las parcelas que se encuentran aguas arriba del área afectada. En realidad, este es un problema de erosión por escurrimientos y no por erosión laminar o interarroyuelos, en donde la única forma de controlarlo es por medio del almacenamiento, infiltración o conducción del agua a velocidades no erosivas.

Bajo este punto de vista, únicamente un productor estará interesado en afrontar el problema, y el resto no se preocupará por los escurrimientos generados en sus parcelas. Todo este planteamiento conduce a la conclusión de que el productor afectado, difícilmente podrá atacar el problema por sí solo, pues se enfrentaría a problemas económicos y sociales, al querer modificar la red de drenaje que se encuentra en las parcelas aguas arriba de la suya.

En relación con el problema agronómico y refiriéndose a la falta de precisión en las evaluaciones de la erosión, éste debe corregirse mediante la adopción de una sola metodología que permita obtener resultados comparables. También debe capacitarse al personal que estará encargado de realizar las evaluaciones, pues esto asegurará la confiabilidad de los resultados. Refiriéndonos al problema de la tecnología y/o infraestructura usada hasta la fecha por la SARH para controlar la erosión, es conveniente conceptualizar el grado de avance que se puede lograr. El procedimiento seguido consiste en el establecimiento de prácticas de conservación en las parcelas de los agricultores. Sin embargo, como se mencionó en el capítulo VI, la SARH no podrá controlar este problema ni a través del tiempo ni a través del presupuesto. Por lo tanto, se había pensado en un cambio de estrategia que involucrara a diferentes instituciones de la SARH, a otras dependencias fuera de la SARH y a los productores agrícolas. Aun cuando se podría avanzar más en el control de la erosión con esta estrategia, a fin de cuentas resultaría ser una simple variante de la que considera el incremento del presupuesto para el control de la erosión, pues lo que se pretende con ella es concentrar los recursos económicos y humanos de diferentes sectores a la solución del problema. Un punto negativo de esta estrategia es el hecho de que los agricultores no van a participar dentro de estas acciones, pues ellos no alcanzan a percibir el efecto de la erosión sobre el rendimiento de sus cosechas.

Dentro de este mismo análisis, es conveniente conceptualizar el alcance que está teniendo el trabajo o la tecnología adoptada por la SARH. Durante sus 36 años de la existencia, la extinta DGCSA ha logrado proteger de la erosión, pero no eliminarla, a 3'263,445 ha (Cuadro 14), cantidad que apenas representa el 2.098% de la superficie afectada por algún tipo de erosión en México (155'569,943 ha; Cuadro 2). Sin embargo, durante estos 36 años, la superficie que no se ha protegido (97.9% de la superficie afectada) ha estado sufriendo los efectos de la erosión.

El planteamiento presentado en el párrafo anterior, conduce a la conclusión de que la tecnología y/o infraestructura empleada por la SARH es extremadamente ineficiente, pues aun cuando pasara un período similar de tiempo (otros 36 años), se lograrían avances insignificantes en el control de la erosión. Ante este panorama, es ineludible la responsabilidad de crear una nueva tecnología y/o infraestructura que permita aumentar la eficiencia de los recursos económicos, humanos y materiales, para controlar la erosión.

Para diseñar la nueva tecnología se deben considerar cada una de las conclusiones y experiencias que se han descrito anteriormente y que a continuación se enlistan.

- Los agricultores no van a participar en el establecimiento de prácticas de conservación del suelo, pues se ha visto que la reducción de la productividad de su suelo es muy pequeña, y consecuentemente la producción de sus cosechas será poco afectada. Además, debido al nulo interés que la mayoría de los agricultores muestra por las prácticas, muchos van a borrar las terrazas construidas porque les impiden maniobrar libremente sus herramientas agrícolas. Estas aseveraciones dictaminan que el establecimiento de prácticas para reducir la erosión, debe hacerse fuera del área sembrada por los agricultores.
- Al continuar usando la tecnología adoptada por la SARH, el avance que se conseguirá será demasiado lento para controlar la erosión del país; por lo tanto, con la idea de avanzar más rápido en el control de la erosión, es conveniente establecer prácticas de conservación a una escala diferente a las parcelas de los agricultores, como pueden ser las cuencas hidrológicas. Es decir, controlar la erosión de las cuencas para abarcar mayor superficie y aumentar la eficiencia de los recursos humanos, económicos y materiales.
- Tomando en cuenta que un gran porcentaje de los agricultores destruyen las prácticas de conservación construidas dentro de sus parcelas, y que la tasa de entrega de sedimentos disminuye al aumentar el tamaño de la parcela o cuenca, es necesario crear nuevos diseños de prácticas de conservación del suelo y agua que puedan construirse exclusivamente en los linderos de los predios agrícolas, para eliminar totalmente el riesgo de que sean destruidas por los agricultores y aumentar la eficiencia, pues la cantidad de suelo que deben retener por cada m³ de práctica construida es menor. Conviene aclarar que los nuevos diseños de prácticas de conservación

no reducirán la erosión laminar ni la interarroyuelos, pero si reducirán la velocidad del escurrimiento, aumentarán la infiltración y reducirán la erosión en cárcavas. Además, harán más rápido el avance de la protección del suelo contra la erosión.

- Considerando que al aumentar el área de la cuenca la erosión depende del escurrimiento, para reducir la erosión se debe disminuir el volumen del escurrimiento. Tal reducción puede hacerse construyendo pequeños o grandes almacenamientos en batería, o bien modificando la red de drenaje para reducir la velocidad del escurrimiento a velocidades no erosivas, propiciando con esto la infiltración del agua, deposición de sedimentos y la reducción de la erosión en cárcavas. Al modificar la red de drenaje natural, las cárcavas pueden usarse como sitios almacenadores de agua y para atrapar sedimentos por deposición.

- En contraposición al inciso anterior, si se desea aumentar los escurrimientos para almacenar el agua en presas, debe aceptarse la responsabilidad de construir sitios expuestos para la deposición de azolves, pues al aumentar los escurrimientos, ineludiblemente aumentará la erosión.

Tomando en cuenta estas experiencias y conclusiones, la conservación del suelo en México tiene como única opción establecer prácticas en sitios naturales de deposición de sedimentos y en pendientes que permitan el flujo de los escurrimientos a velocidades no erosivas. Además, se debe evitar la invasión del área de siembra de los agricultores, pues al invadirla se corre el riesgo de que las prácticas sean destruidas.

Con respecto al problema ecológico, éste se pasará por alto debido a que el equilibrio de los ecosistemas sólo puede lograrse imponiendo reglas de manejo de los recursos naturales y la imposición en un país como México, con una gran diversidad étnica, cultural, social, económica y política, convergería necesariamente a la implantación de acciones de fuerza en contra de los agricultores.

IX. NECESIDADES DE ESTUDIOS, OPERACION, INVESTIGACION Y PARTICIPACION INTER-INSTITUCIONAL

De acuerdo con el tipo de prácticas de conservación del suelo que se propusieron en el capítulo anterior, es necesario realizar estudios topográficos, hidrológicos, de catastro parcelario y de establecimiento de prácticas, que permitan definir: (a) los sitios naturales de deposición de sedimentos que coincidan con los linderos de los terrenos, (b) los lugares por

donde se puedan conducir los escurrimientos a velocidades no erosivas y que también coincidan con los linderos de los terrenos, y (c) las dimensiones de las prácticas de conservación del suelo.

Dentro de los programas de operación que resolverán el problema de la erosión en México, se incluye el establecimiento de las prácticas de conservación del suelo que dictaminen los estudios. En la operación de estos programas se requiere infraestructura material y humana especializada en la construcción de trampas de sedimentos, de agua y una red de drenaje que permita conducir los escurrimientos producidos a velocidades no erosivas.

Las investigaciones que se deben realizar dentro del nuevo enfoque de conservación del suelo, deben estar encaminadas a la prueba de la hipótesis que plantea la nula importancia de la erosión de los suelos en la productividad agrícola (véase el Problema agrícola en la última parte del capítulo VII). También se debe planear una investigación que defina la utilidad de las evaluaciones de pérdidas de suelo realizadas en lotes de escurrimiento y en parcelas agrícolas manejadas por los agricultores, pues esto permitirá adoptar un solo criterio y obtener resultados que sean comparables entre sí. Esta investigación resolvería la parte del Problema agronómico que incluye la falta de precisión en las evaluaciones realizadas sobre la erosión, según fue descrito también en la última parte del capítulo VII. La última línea de investigación incluye la evaluación de la nueva tecnología de Conservación del Suelo propuesta en este escrito. Las variables que se deben cuantificar en esta evaluación son: la reducción de la erosión de los suelos, la cantidad de superficie beneficiada, las inversiones realizadas y la producción agrícola obtenida. Dentro de esta investigación se debe incluir la comparación de la nueva tecnología con la que antes usaba la extinta DGCSA, pues todavía se usa en muchos países, e incluir en la comparación a algunas áreas testigo que únicamente estén sometidas al manejo del agricultor.

Para cumplir con las necesidades de investigación, es indispensable la participación inter-institucional entre la Dirección General de Normatividad Agrícola y el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. La Dirección coordinará los estudios, diseño y establecimiento de las prácticas, mientras que el Instituto será el responsable de registrar sistemáticamente las cantidades de suelo erosionado, los volúmenes de escurrimiento y la producción de cosechas que se obtienen en cada una de las tecnologías de Conservación del Suelo involucradas en esta investigación.

X LITERATURA CITADA

Anderson, H. W. 1954. Suspended sediment discharge as related to stream flow, topography, soil and land use. Trans. Am. Geophys. Union 35 (2): 268-281.

Arnoldus, H. M. J. 1977. Predicting Soil Losses due to sheet and rill erosion. Guidelines for Watershed Management. FAO Conservation Guide No. 1. Rome, Italy.

- CP. 1981. Informe de Avances de Actividades. Colegio de Postgraduados, Sección de Física de Suelos. Centro de Edafología. Chapingo, Méx.
- DGCSA. 1981. Informe Técnico del Campo Experimental "Las Ollas". Chiapas. Reporte Interno.
- Douglas, I. 1967. Natural and man-mode erosion in the humid tropics of Australia, Malaysia and Singapore. Int. Assoc. Scient. Hydrol. Pub. 75: 17-30.
- Ellison, W. D. 1974. Soil erosion studies. VI Soil detachment by surface flow. Agric. Eng. 28: 442-444, 450.
- Figueroa S., B. 1975. Pérdidas de suelo y nutrientes y su relación con el uso del suelo en la cuenca del Río Texcoco. Tesis de Maestría. Colegio de Postgraduados, Chapingo, Méx.
- Foster, G. R. y L. D. Meyer. 1972. A closed-form soil erosion equation for upland areas. In: Sedimentation: Symposium to Honour H. A. Einstein. (H. W. Shen, Ed.), Colorado State University, Vol. 12: 1-9.
- Glymph, L. M. Jr. 1957. Importance of sheet erosion as a source of sediment. Trans. Am. Geophys. Union 38: 903-907.
- Gottschalk, L. C. 1954. Reservoir Sedimentation. In: Handbook of applied hydrology. Ed. V. T. Chow, pp. 17-1 to 17-34.
- McGuinness, J. L., L. L. Harrold y W. M. Edwards. 1971. Relation of rainfall energy and streamflow to sediment yield from small and large watersheds. J. Soil and Water Conserv. 26: 233-235.
- Meyer, L. D., G. R. Foster y J. M. Romkens. 1975. In: Present and Prospective Technology for Predicting Sediment Yields and Sources. Proceedings of Sediment-Yield Workshops, United States Department of Agriculture Sedimentation Laboratory, Oxford, Mississippi. November 1972. (Agricultural Research Service Report ARS-S-40). Washington D. C. pp. 177-189.
- Miller, C. R., R. Woodburn y H. R. Turner. 1972. Upland gully sediment production. Int. Ass. Scient. Hydrol. Pub. 59: 83-104.
- Morgan, R. P. C. 1977. Soil erosion in the United Kingdom: field studies in the Silsoe area 1973-75. National College Agricultural Engineering. Occasional Paper 4, 41 pag.
- Morgan, R. P. C. 1984. Implicaciones. Capítulo 8, pp. 307-362. In: Erosión de Suelos. 1984. M. J. Kirkby y R. P. C. Morgan. Ed. Limusa, México D.F.
- Mosley, M. P. 1974. Experimental study of rill erosion. Trans. Am. Soc. Agric. Engrs. 17: 909-916.
- Piest, R. F., J. M. Bradford y G. M. Wyatt. 1976. Soil erosion and sediment transport from gullies. J. Hydraulics Div., Am. Soc. Civil Engrs. 101 (HY1): 65-80.
- Renfro, G. W. 1975. Use of erosion equations and sediment-delivery ratio for predicting sediment yield. In: Present and Prospective Technology for Predicting Sediment Yields and Sources. Proceedings of Sediment-Yield Workshops, United States Department of Agriculture. Sedimentation Laboratory, Oxford, Mississippi. November 1972. (Agricultural Research Service Report ARS-S-40). Washington D. C. pp. 33-45.
- Roose, E. J. 1975. Use of the universal soil loss equation to predict erosion in West Africa. In: Soil Erosion: Prediction and Control. Special Publication 21. SCSA.
- SCS. Soil Conservation Service. 1971. Sediment sources, yields and delivery ratios. SCS. National Engineering Handbook (Sección 3, capítulo 6). United States Department of Agriculture, Washington D.C.
- SCS. Soil Conservation Service. 1977. Midwest Technical Service Center. TSC. Advisory Soils LI-13; July 14, 1977.
- Spomer, R. G., H. G. Heinemann y R. P. Piest. 1971. Consequences of historic rainfall on western Iowa farmland. Water Res. Res. 7: 524-535.
- Strahler, A. N. 1964. Geology. Part II. Quantitative geomorphology of drainage basins and channel networks. In: Handbook of applied hydrology. (Ed. V. T. Chow). McGraw-Hill, New York.
- Striffler, W. D. 1964. Sediment, streamflow, and land use regulations in Northern Michigan. United States Forest Service. Artículo de investigación LS-16. United States Department of Agriculture, Washington D. C.
- Terrazas, G. J. L. 1977. Manejo de suelos para reducir la erosión y aumentar la productividad en los suelos agrícolas de ladera de la cuenca del Río Texcoco. Tesis de Maestría. Colegio de Postgraduados, Chapingo, Méx.
- Trueba, C. A. 1978. Evaluación de la eficiencia de cuatro prácticas mecánicas para reducir las pérdidas de suelo y nutrientes por erosión hídrica en terrenos agrícolas de temporal. Tesis de Maestría. Colegio de Postgraduados, Chapingo, Méx.
- Trujillo, H. S. ——. Efecto de la cobertura vegetal en el proceso erosivo. Tesis profesional en elaboración. Universidad Autónoma Chapingo, Chapingo, Méx.

RECUPERACION EXTENSIVA DE SUELOS ALTAMENTE SALINO-SODICOS
DEL EX-LAGO DE TEXCOCO. 1. AVANCES A 1986 1

F. A. Llerena V. ²
A. Becerra M. ²
A. Velázquez L. ²

RESUMEN

Los suelos del Ex-lago de Texcoco presentan una serie de factores altamente limitativos para el desarrollo no sólo de cultivos sino aún, para gran parte, de vegetación silvestre. Algunas de estas limitantes son las excesivas concentraciones de sales, elevado contenido de sodio intercambiable, fuerte alcalinidad, y difíciles condiciones de drenaje. Sin embargo, existen algunas zonas que presentan condiciones menos críticas, en las cuales hay posibilidades de llevar a cabo procesos de recuperación de suelos en forma extensiva, basados en algunos resultados experimentales obtenidos en el área por la Comisión del Lago de Texcoco. Por lo tanto, a partir de 1983 se inició un programa de recuperación extensiva de suelos en el área, algunos de cuyos avances, logros y experiencias se discuten en el presente artículo.

ABSTRACT

The soils of the former Texcoco lake basin show several highly limitative factors, not only concerning the growth of cultivated plants but also for most wild plants. Some of these factors are: the excessive salt concentrations, high exchangeable sodium percentage, very alkaline pH and restrained drainage. Nevertheless, in some areas where those problems are present to a lower degree, it is feasible to carry out extensive processes of reclamation, based on some experimental results obtained by the Texcoco Lake Committee. Therefore, since 1983, a soil reclamation programme has been conducted in this area. Some achievements and experiences are discussed in this article.

INTRODUCCION

El ensalitramiento de los suelos constituye un factor limitante para la agricultura en varias regiones de México, y de muchos otros países. Se estima que alrededor de una cuarta parte de los terrenos cultivables en el país, presentan este problema en mayor o menor grado. El problema adquiere mayor relevancia si se considera que gran parte de los suelos con este problema se presentan en las áreas bajo riego, en donde existen fuertes inversiones en obra de infraestructura. Por lo tanto, dada la creciente demanda de alimentos y las limitantes existentes para la incorporación de más terrenos a la agricultura, adquieren gran importancia todas aquellas acciones tendientes a conservar y/o incrementar la productividad de los suelos, así como las que se realizan para los terrenos que han sufrido deterioro en su capacidad productiva, como es el caso de aquellos afectados por exceso de sales.

Los suelos del ex-lago de Texcoco constituyen un caso excepcional de terrenos ensalitrados, por reunir una serie de factores altamente limitativos para el desarrollo no sólo de cultivos, sino aún para la mayoría de la vegetación silvestre. Sin embargo, algunas actividades que ha realizado la Comisión del Lago de Texcoco en la zona, tales como pastización, riego, y construcción de drenaje, han propiciado una mejora relativa en muchos de los suelos del ex-lago, lo que a su vez ha motivado el desarrollo de una serie de estudios e investigaciones tendientes a definir la factibilidad técnica y económica de realizar procesos de recuperación, así como para determinar las metodologías más adecuadas para la región.

Los resultados obtenidos por la propia Comisión, indican que sí es técnicamente factible recuperar gran parte de estos suelos para fines agrícolas, si bien ello implica un elevado costo y un largo proceso.

Así, a partir de 1983, se inició un programa de recuperación extensiva de suelos con la finalidad de contar con una superficie destinada a la producción de forraje de buena calidad principalmente en el invierno, para apoyar los programas de engorda de ganado que se tienen. Además, se pretende incrementar el número de cabezas de ganado dentro del área, a fin de apoyar un Programa de Reserva Estratégica de Carne que está desarrollando el Gobierno Federal.

ANTECEDENTES

Problemática De Los Suelos Del Area

En los suelos del ex-lago de Texcoco se presenta una serie de factores altamente limitativos para el desarrollo de cultivos, factores que por su grado de afectación y coincidencia simultánea hacen de estos suelos un caso único en el mundo. Entre los principales factores-problema se tienen: (a) elevada concentración salina; (b) exceso de sodio intercambiable; (c) fuerte alcalinidad; (d) niveles freáticos someros y altamente salinos; y (e) presencia en el perfil del suelo de un material altamente hidratado con características excepcionales (Llerena y Tarin, 1978).

Trabajos De Pastización Y Forestación En El Ex-lago

Para resolver el problema de las tolvaneras que se generaban en el área, a partir de 1972 se iniciaron los programas de pastización en el ex-lago, cubriéndose en 14 años la mayoría del área problema (aproximadamente 6,000 ha). Se utilizó un pasto nativo de la zona con cualidades especiales para soportar condiciones adversas, cuyo nombre científico es *Distichlis spicata*.

Algunas de las ventajas derivadas de la pastización son las siguientes: (a) la cobertura evita la formación de tolvaneras; (b) se reduce el ascenso capilar de sales; (c) con la deshidratación del "jaboncillo" se propicia la formación y maduración del suelo; (d) con lo anterior, y la aplicación de riegos, se recupera paulatinamente los suelos; (e) el pastizal y la reciente plantación forestal tienen un impacto decisivo sobre la recuperación ecológica del área; (f) el pasto salado sirve como forraje para rumiantes (Llerena y Tarin, 1978).

Además, desde 1980, se inició el establecimiento masivo de especies forestales en el área con características halófitas (sobre todo de *Tamarix*), para la formación de barreras rompevientos, lo cual ha tenido excelentes resultados.

Antecedentes Experimentales En La Comisión

A partir de 1978, la Comisión del Lago de Texcoco, a través del entonces Programa Agrícola, inició una medición sistemática del nivel freático en toda el área federal, construyendo más de 100 pozos freáticos para medición periódica de la profundidad del nivel del

agua y la salinidad de ésta. La concentración salina ha fluctuado desde unas 6,000 ppm hasta más de 50,000 ppm, mientras que los niveles freáticos varían desde cero hasta más de 2 metros. Además, sobre este mismo aspecto, desde 1982 se lleva un registro continuo del nivel freático en cinco puntos estratégicos del área federal mediante limnigrafos.

Con relación a la salinidad del suelo, se tiene un estudio agrológico detallado (Velázquez et al., 1981), y dos reportes de caracterización de la salinidad del suelo (Luna et al., 1981; Martínez et al., 1982), utilizando técnicas de muestreo de suelos y fotointerpretación. A la vez, se realizó un estudio sobre la conductividad hidráulica en los suelos del área (Serrano et al., 1985).

A partir de 1981 se iniciaron varios trabajos experimentales en la Comisión del Lago de Texcoco sobre recuperación de suelos. De los ocho experimentos realizados a la fecha, cinco fueron sobre diversas modalidades de aplicación de mejoradores químicos (sólo de dos de ellos se ha concluido el reporte correspondiente), otro experimento fue sobre lavado y drenaje subterráneo, uno más sobre lavado "superficial" y un último lavando con diluciones graduales de aguas salinas (Anguiano et al., 1984; Becerra et al., 1983, 1985; Serrano et al. 1985b).

Entre las conclusiones obtenidas por estos autores se tienen las siguientes: (a) es posible abatir las sales solubles con solo lavados hasta niveles inferiores a 10 mmhos/cm; (b) tanto el drenaje a cielo abierto como el subterráneo son eficientes en la eliminación de las aguas de lavado, aunque en el primer caso se requiere mucha actividad de mantenimiento, y en ambos casos la separación necesaria entre drenes es corta (15-30 metros); (c) se ha probado los mejoradores azufre, yeso y polisulfuro de calcio, obteniéndose los mejores resultados con azufre; (d) es posible recuperar para fines agrícolas los suelos de la parte oriental del ex-lago, lavando suficientemente y con adición de un mejorador acidificante; (e) en suelos sometidos a prácticas de recuperación se ha obtenido, en el mejor de los tratamientos, hasta 28 ton/ha de forraje (materia seca) de pasto rye-grass en un solo corte y 3 ton/ha de grano de trigo (Becerra et al., 1983).

PROYECTO DE RECUPERACION EXTENSIVA DE SUELOS

En la actualidad, una extensión de más de 1,000 ha de terreno del ex-lago cubierto con pasto salado es utilizado en pastoreo con ganado vacuno, obteniéndose buenos incrementos de peso durante la época de lluvias, pero disminuyendo durante el resto del año (Llerena y Tarin, 1978). Por lo tanto, se requiere complementar la alimentación del ganado durante esa temporada del año, o contar con alguna fuente alternativa de forraje, como podría ser algunos cultivos de invierno: rye-grass, avena, etc.

Así aprovechando las experiencias generadas con los diversos estudios, y con el propósito de producir cultivos forrajeros de buena calidad para intensificar los programas de producción

de carne en el área, desde 1983 se inició la construcción de un sistema de drenaje general, para posteriormente emprender trabajos de recuperación de suelos. En ese mismo año se iniciaron los trabajos de drenaje parcelario en el predio denominado Potrero de Oriente (Figura 1), primera zona que se pretendió recuperar para propósitos agrícolas, y cuya extensión es de aproximadamente 160 hectáreas. Posteriormente, se amplió la zona probable a recuperar hasta 400 ha, según se detalla en la Figura 1 y en el capítulo siguiente.

Este programa se estableció con los siguientes objetivos:

- (a) Objetivo General.
 Modificar las características de los suelos a fin de tener condiciones adecuadas para el desarrollo de cultivos.
- (b) Objetivos Particulares.
 - Construir un sistema de drenaje general y parcelario.
 - Abatir el nivel de las aguas freáticas y contar con un sistema de riego para evacuar los lixiviados provenientes de la aplicación de lavados.

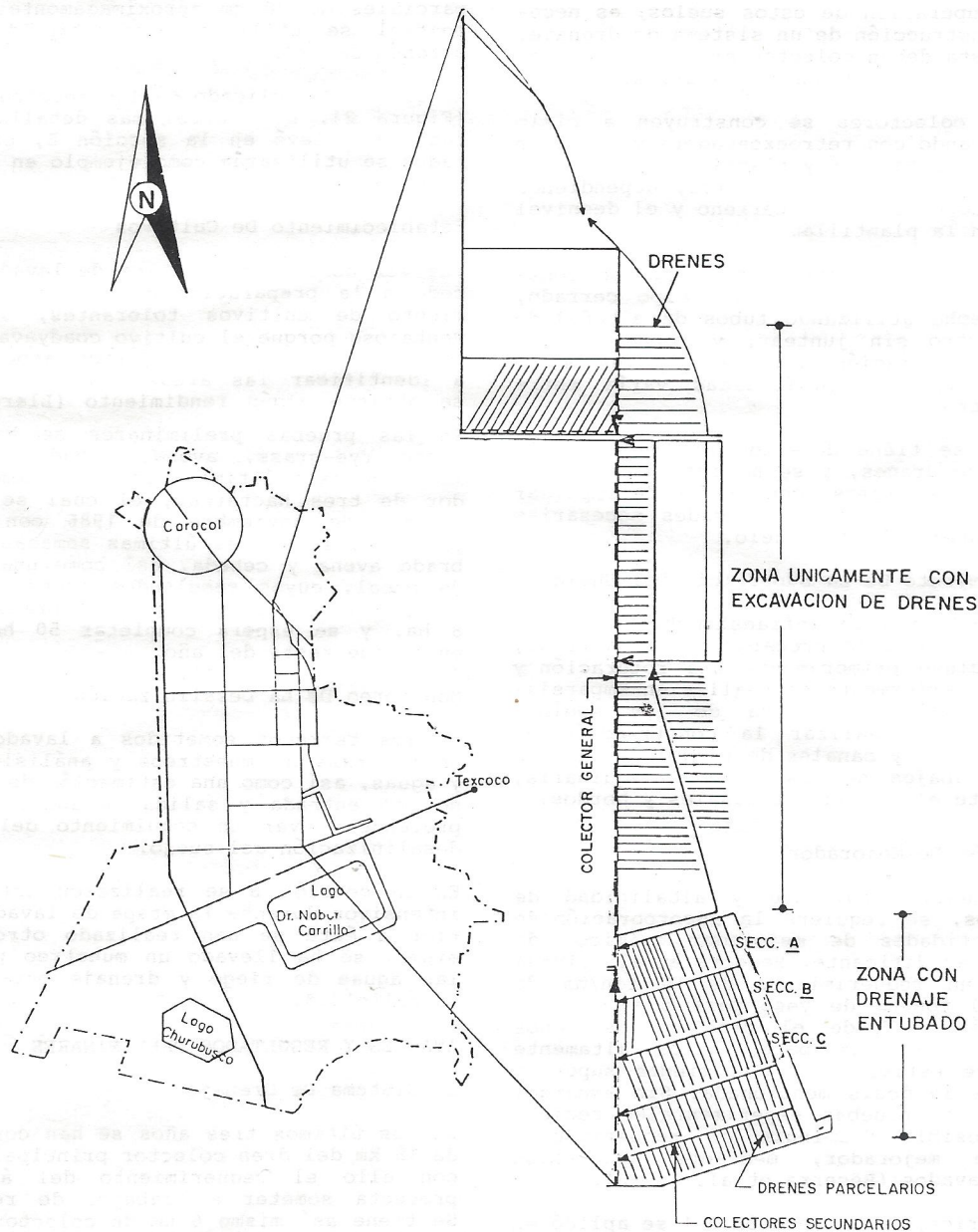


Figura 1. Zona a recuperar con el drenaje actualmente construido.

- Acondicionar la superficie del suelo y construir la infraestructura de riego.
- Aplicar lavados al suelo con el fin de eliminar el exceso de sales.
- Realizar el balance hídrico y de sales durante el lavado, al menos en algunas áreas piloto.
- Establecer cultivos forrajeros.

METODOLOGIA

Infraestructura De Drenaje

Para la recuperación de estos suelos, es necesaria la construcción de un sistema de drenaje, el cual consta de un colector principal, colectores secundarios y drenes parcelarios.

Los drenes colectores se construyen a cielo abierto, cavando con retroexcavadora y afinando manualmente los taludes y plantilla. Su profundidad fluctúa entre 2 y 4 metros, dependiendo de la microtopografía del terreno y el desnivel necesario en la plantilla.

A su vez los drenes parcelarios que se construyeron en su mayoría son del tipo cerrado, y se han hecho utilizando tubos de albañal de 6" de diámetro sin juntar, y tezontle como filtro. La separación utilizada es de 40 m entre drenes, y su profundidad varía entre 1.20 y 2 metros.

Actualmente se tiene detenido el avance en la excavación de drenes, y se ha intensificado el entubado de los mismos, con el fin de impulsar el avance de las demás actividades necesarias para la recuperación del suelo.

Acondicionamiento De La Superficie Del Suelo

Una vez construida la infraestructura de drenaje, se procede a la preparación del terreno, la cual incluye primeramente una roturación y rastreo, posteriormente se realiza un emparejamiento o nivelación somera de los suelos, para finalmente realizar la construcción de bordos melgueros y canales de riego; la mayoría de estos trabajos se realiza con maquinaria, y manualmente el acabado de canales y bordos.

Incorporación De Mejorador

Por la excesiva sodicidad y alcalinidad de estos suelos, se requiere la incorporación de grandes cantidades de mejorador químico, de preferencia acidificante. Becerra et al. (1983) calcularon un requerimiento de 10 ton/ha de azufre ó 50 ton/ha de yeso para suelos de la zona periférica donde el problema es menos severo, mientras que para suelos altamente afectados se estima un requerimiento superior al doble de la dosis mencionada. Sin embargo, de acuerdo con pruebas experimentales recientes, es posible disminuir el requerimiento inicial de mejorador, mediante aplicación previa de lavados (Becerra et al., 1986).

Por lo anterior, en la sección A-1 se aplicó en una primera etapa 3.5 ton/ha de azufre más 5 ton/ha de yeso, aplicándolo manualmente e incorporando luego con dos pasos de rastra.

A su vez, en la sección B se aplicó una dosis de 1,000 l/ha de polisulfuro de calcio, incorporado directamente en el agua de lavado. Ambas zonas se muestran en la Figura 2.

Aplicación De Lavado

Una vez preparado el terreno y construida la infraestructura de riego, se procede a aplicar el agua de lavado utilizando para ello aguas negras provenientes de la Ciudad de México, que son las únicas disponibles en la zona; además de las aguas freáticas salinas; se utiliza una lámina total de 2 m en aplicaciones parciales de 20 cm aproximadamente, y para su control se utilizan compuertas de madera y sifones de PVC.

Aunque se ha aplicado en las secciones A, B y C (Figura 2), el control más detallado y constante se llevó en la sección B, cuyos resultados se utilizarán como ejemplo en el presente trabajo.

Establecimiento De Cultivos

Una vez concluida la etapa de lavados, se procede a la preparación del suelo y establecimiento de cultivos tolerantes, lo cual es ventajoso porque el cultivo coadyuva a la recuperación del suelo en varios aspectos, ayuda a identificar las áreas con mayor problema y se obtiene algún rendimiento (Llerena, 1977).

En las pruebas preliminares se ha utilizado pasto rye-grass, avena, cebada, remolacha y maíz; de este último cultivo se sembró alrededor de tres hectáreas, el cual se cosechó en el mes de noviembre de 1986 con resultados promisorios. En las últimas semanas se ha sembrado avena y cebada, así como una plantación de nopal, cuyos resultados apenas comienzan a manifestarse. El área total sembrada es de unas 8 ha, y se espera completar 50 ha sembradas en lo que resta del año.

Monitoreo De La Desalinización

En los terrenos sometidos a lavado, se lleva un programa de muestreos y análisis de suelos y aguas, así como una estimación de los volúmenes de entrada y salida de agua; con ello se pretende llevar un seguimiento del proceso de desalinización del suelo.

En la sección B se realizaron tres muestreos intensivos durante la etapa de lavado, y posterior a éste se han realizado otros dos. Así mismo, se ha llevado un muestreo periódico de las aguas de riego y drenaje para determinar su salinidad.

AVANCES Y RESULTADOS PRELIMINARES

El Sistema De Drenaje

En los últimos tres años se han construido más de 18 km del dren colector principal, cubriendo con ello el requerimiento del área que se proyecta someter a trabajos de recuperación. Se tiene así mismo 6 km de colector secundario y más de 75 km de drenes parcelarios, los cuales cubren una superficie aproximada de 300 hectáreas (Figura 1).

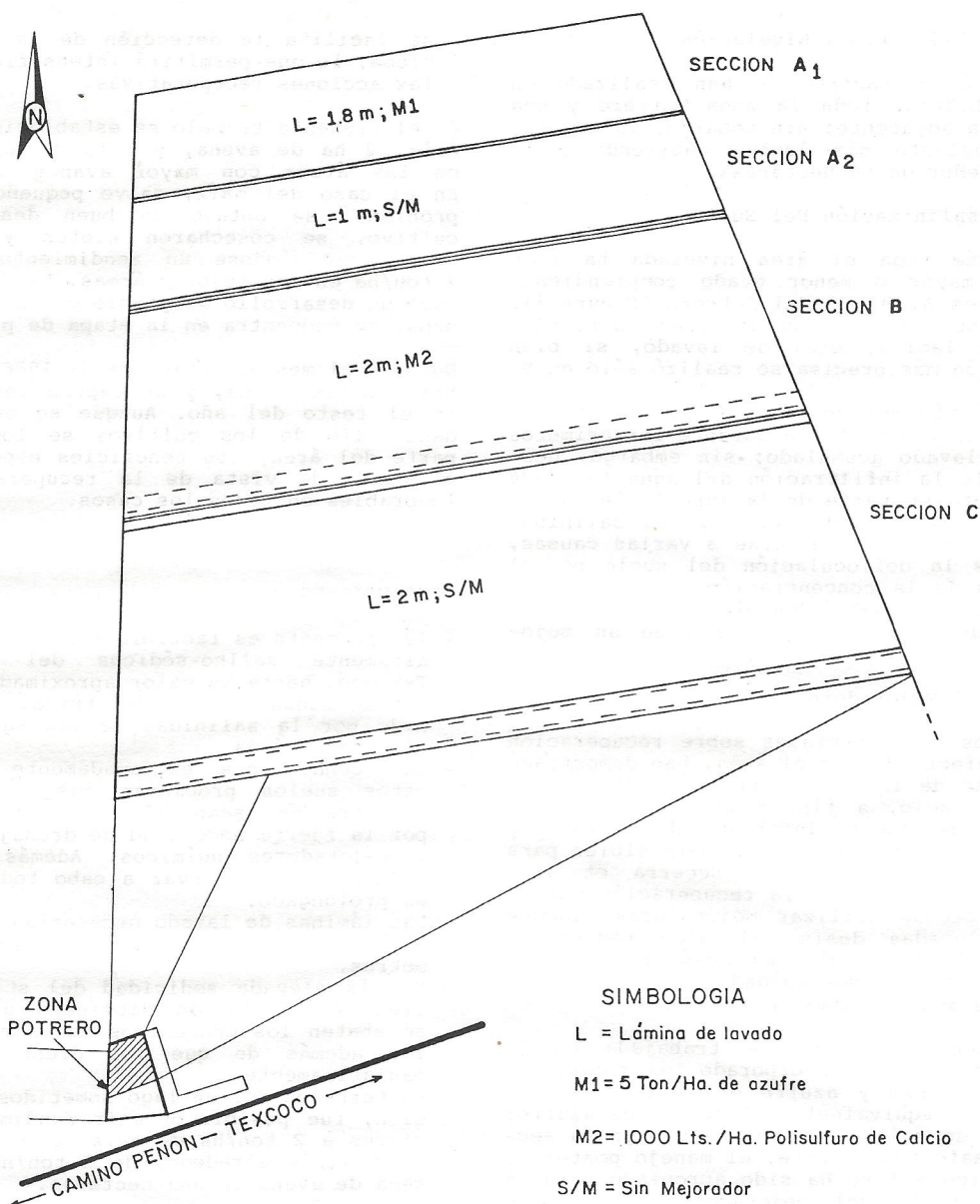


Figura 2. Tratamientos aplicados en cada una de las secciones.

Su construcción ha sido difícil por las condiciones particulares del suelo, ya que la retroexcavadora sólo puede avanzar sobre tarimas o balsas para evitar su hundimiento. Además ya construidos los drenes, muchas veces ocurre el desgajamiento de sus paredes por la falta de estabilidad y estructuración de los suelos, en lo cual la presencia del "jaboncillo" y su elevada hidratación original son determinantes.

Por esta situación, los drenes a cielo abierto (principal y colectores), requieren de constante actividad de mantenimiento incrementando su costo. Debido a esto, entre otras causas, los drenes parcelarios son del tipo subterráneo, si bien el avance en el tendido de tubos y relleno de drenes es apenas un 50% del total excavado. A la fecha, se tiene suspendida la excavación y se pretende acelerar el entubado de drenes y las etapas subsecuentes de la recuperación.

Preparación Del Suelo Y Nivelación

La roturación y rastreo se han realizado en 179 ha, cubriendo toda la zona Potrero y una pequeña área adyacente; sin embargo, la nivelación es bastante más lenta, cubriendo a la fecha alrededor de 50 hectáreas.

Lavado Y Desalinización Del Suelo

Prácticamente toda el área nivelada ha sido lavada en mayor o menor grado comprendiendo las secciones A, B y C del Potrero (Figura 2). En todos los casos se ha utilizado alrededor de 2 m de lámina total de lavado, si bien la estimación más precisa se realizó sólo en B.

La infiltración del agua en el suelo generalmente no presentó problema durante los primeros 150 cm de lavado acumulado; sin embargo, después de ello la infiltración del agua fue cada vez más lenta en parte de la superficie, dificultando un mayor abatimiento de la salinidad del suelo. Esto puede deberse a varias causas, entre ellas la defloculación del suelo por el abatimiento de la concentración electrolítica. Para evitar esto habrá que disminuir el sodio intercambiable por incorporación de un mejorador.

Aplicación De Mejoradores

Los trabajos experimentales sobre recuperación de suelos efectuados en el área, han demostrado la necesidad de incorporar un mejorador acidificante al suelo, a fin de abatir el elevado porcentaje de sodio intercambiable (PSI) y disminuir el pH hasta niveles permisibles para el desarrollo de cultivos (Becerra et al., 1983). Por lo tanto, en la recuperación extensiva se pretende utilizar mejoradores, aunque por las elevadas dosis iniciales requeridas se está realizando experimentación para determinar la mejor oportunidad de aplicación, así como la dosis mínima requerida.

En parte de la superficie trabajada en la zona Potrero, se han incorporado los siguientes mejoradores: yeso y azufre en la sección A-1 con una dosis equivalente a 5 ton/ha de azufre; 1,000 l/ha de polisulfuro de calcio en la sección B. Desafortunadamente, el manejo posterior de la sección A-1 no ha sido apropiado para un efecto favorable del mejorador, y la dosis efectiva de mejorador (en equivalentes químicos) aplicada en la sección B es muy baja, por lo que no es posible concluir por ahora sobre la efectividad del mejorador aplicado en estos trabajos extensivos.

Establecimiento De Cultivos

Aunque el establecimiento de cultivos es el objetivo final de la recuperación del suelo, también puede utilizarse como una etapa más del proceso mismo de la recuperación (Llerena, 1977), lo cual presenta varias ventajas, entre las que se tienen:

- incremento de la eficiencia del proceso de recuperación;
- se amortiza más rápido la inversión;
- se obtiene ya una producción;

- se facilita la detección de las áreas problema, lo que permitirá intensificar en ellas las acciones recuperativas.

En el presente trabajo se establecieron 3 ha de maíz, 2 ha de avena, y 1 ha de nopal, en una de las áreas con mayor avance del proceso. En el caso del maíz, salvo pequeños manchones problema, se obtuvo un buen desarrollo del cultivo, se cosecharon elotes y maíz para grano, estimándose un rendimiento superior a 2 ton/ha en las mejores áreas. La avena también tuvo un desarrollo aceptable en manchones, y el nopal se encuentra en la etapa de prendimiento.

Durante el mes de noviembre de 1986 se han sembrado otras 10 ha, y se espera completar a 40 en el resto del año. Aunque se espera que el desarrollo de los cultivos se logre sólo en parte del área, los beneficios esperados desde el punto de vista de la recuperación, serán favorables en todos los casos.

CONCLUSIONES

- Técnicamente es factible recuperar los suelos altamente salino-sódicos del ex-lago de Texcoco, hasta un valor aproximado de 4 mmhos/cm de conductividad eléctrica, límite definido por la salinidad de las aguas disponibles en el área.
- Las condiciones extremadamente adversas de estos suelos propician que los costos de recuperación sean elevados, principalmente por la fuerte necesidad de drenaje parcelario y mejoradores químicos. Además, el tiempo requerido para llevar a cabo todo el proceso es prolongado.
- Las láminas de lavado necesarias para desalinizar estos suelos, son del orden de 3 a 5 metros.
- Por la elevada sodicidad del suelo, la eficiencia del lavado disminuye a medida que se abaten los contenidos de sales en el suelo, además de que los drenes se azolvan paulatinamente.
- En terrenos del ex-lago sometidos a recuperación, fue posible obtener rendimientos superiores a 2 ton/ha de maíz, en una superficie de 3 ha, y alrededor de 5 ton/ha de materia seca de avena en una hectárea.

RECOMENDACIONES

- Para una buena eficiencia de lavado, es importante que los intervalos de tiempo entre riegos sean relativamente cortos; además, es importante evitar interrupciones mayores de seis semanas durante el proceso de lavado, pues ello propicia el salinizar otra vez los estratos superiores del suelo, por el ascenso capilar de sales.
- Durante las últimas etapas de recuperación, una vez que la salinidad sea inferior a 20 mmhos/cm, se recomienda la introducción de cultivos semi-tolerantes a la salinidad, de alta densidad y que se rieguen por inundación (trigo, cebada, avena, etc.).

LITERATURA CITADA

- Anguiano L., F. J., A. Becerra M., A. Velázquez L. y F. A. Llerena V. 1984. Evaluación de la metodología de diluciones sucesivas de aguas salinas en suelos salino-sódicos del ex-lago de Texcoco. Reporte interno. Comisión del Lago de Texcoco, México.
- Becerra M., A., F. A. Llerena V. y R. Martínez E. 1983. Evaluación de la aplicación de azufre durante la recuperación de suelos salino-sódicos del ex-lago de Texcoco. Resúmenes XVI Congreso Nacional de la SMCS. p. 147.
- Becerra M., A., A. Martínez R., A. Velázquez-L. y M. Tarín V. 1985. Prueba comparativa de polisulfuro de calcio con testigos de yeso, azufre y solo lavado en suelos del ex-lago de Texcoco. Reporte interno. DGDAF-CLT.
- Becerra M., A., M. L. Venegas V., F. A. Llerena V., F. J. Anguiano L. y A. Velázquez L. 1986. Oportunidad de aplicación de yeso durante la recuperación de un suelo altamente salino-sódico del ex-lago de Texcoco. Resúmenes XIX Congreso Nacional de la SMCS. p. 91-92.
- Luna O., P., A. Martínez E., A. Velázquez L. y F. A. Llerena V. 1981. Caracterización de la afectación salina de los suelos del ex-lago de Texcoco. Reporte interno 1. CLT-SARH. México.
- Llerena V., F. A. 1977. Ventajas de la inclusión de trigo durante la recuperación de suelos afectados por sales. El Yaqui Agrícola 44. Cd. Obregón, Son., México. p. 5-12.
- Llerena V., F. A. y M. Tarín V. 1978. Establecimiento de pasto salado (*Distichlis spicata*) como cubierta vegetal en suelos extremadamente salino-sódicos del ex-lago de Texcoco. XI Congreso Nacional de la SMCS.
- Martínez E., A., R. Serrano P., A. Velázquez L. y F. A. Llerena V. 1982. Caracterización de la afectación salina de los suelos del ex-lago de Texcoco. Reporte interno 2. Comisión del Lago de Texcoco, SARH, México.
- Serrano P., R., A. Velázquez L., F. A. Llerena V. y A. Becerra M. 1985a. Estudio de la conductividad hidráulica y velocidad de infiltración del ex-lago de Texcoco. Reporte interno. CLT, México.
- Serrano P., R., A. Velázquez L., F. A. Llerena V., y A. Martínez E. 1985b. Evaluación de un sistema de drenaje subterráneo en suelos del ex-lago de Texcoco. Reporte interno. Comisión del Lago de Texcoco-SARH.
- Velázquez L., A., P. Luna O. y F. A. Llerena V. 1981. Estudio agrológico detallado del ex-lago de Texcoco. Reporte interno. Comisión del Lago de Texcoco-SARH.

cias (en prensa).

EL RETO ALIMENTARIO DEL SIGLO XXI ¹⁾

Ramón Fernández González ²⁾

INTRODUCCION

Escribir sobre las posibilidades de alimentar a una población creciente con serios problemas nutricionales, en el proceso de una crisis económica que ha conducido a la humanidad a una encrucijada política que pone en peligro la estabilidad de los países en vías de desarrollo y la paz mundial, es un reto que con toda seguridad el técnico y el científico no podrán resolver, pero sí podrán proponer soluciones viables, que al darse las condiciones favorables resolverán con creces las demandas alimentarias.

En esta presentación se plantean brevemente algunos aspectos del problema alimentario en el corto y mediano plazo, y se hace una revisión de las tecnologías y el conocimiento disponible, indicando en algunos casos el potencial estimado con objeto de tener una idea de su importancia relativa.

CONSIDERACIONES SOBRE LA POBLACION

Para el siglo XXI en el planeta tierra habitarán más de 6,000 millones de personas, y si ahora se mueren de hambre 70 millones de seres humanos al año por falta de comida, es decir: 191,781 personas por día, 7,991 cada hora, 133 cada minuto, más de dos personas cada segundo; de no cambiarse las tendencias actuales en el crecimiento de la población y en el crecimiento de la producción de alimentos, la situación será aún más crítica.

En México, las últimas cifras del Consejo Nacional de Población, prevén para el año 2000 una población de 107 millones de habitantes, es decir un crecimiento de 27 millones de habitantes en los próximos 13 años. Asimismo, se estima que la población rural se mantendrá en números absolutos aunque baje relativamente de un 35% a sólo un 26%.

Por otra parte, el incremento en la población en las zonas urbanas requerirá más alimentos, asimismo la población rural requerirá también de mayores volúmenes de alimentos, al evolucionar el patrón de consumo. Si se considera además que la alimentación actual es deficitaria

en el 80% de la población, la demanda de algunos productos crecerá en forma exorbitante. Por ejemplo, en trigo, soya y sorgo, se estima que se tendrá una demanda de 13, 8 y 15 millones de toneladas por año, respectivamente. De acuerdo a las tendencias actuales y al patrón de consumo, ninguna de estas producciones se podrá alcanzar, por lo que se preve que la situación alimentaria en el mediano plazo sea más crítica.

SITUACION ACTUAL

México ha importado alimentos en los últimos años, estimándose que para 1987 las importaciones serán de 5 a 6 millones de toneladas, y para el año 2000 las tendencias históricas indican que podría haber un déficit de 20 millones de toneladas.

En el marco de la crisis económica, con una deuda externa cuyo monto es de alrededor de 110,000 millones de dólares, con intereses anuales de 10,000 millones de dólares, y de acuerdo a la balanza comercial, se cancelan las posibilidades de crecimiento hacia una economía industrializada y sólo queda como camino viable la búsqueda del desarrollo interno con tecnología apropiada. Basada esta última en el fortalecimiento del sector primario y en un patrón de consumo acorde a las posibilidades naturales del país.

El uso actual de la tierra ha sido deficiente, estimándose que se pierden anualmente 500 mil hectáreas de bosque, de las cuales un porcentaje importante se erosionan. En las zonas de riego se pierden por ensalitramiento alrededor de 30,000 hectáreas por año, por falta de drenaje, mal manejo del agua, y falta de conservación de la infraestructura.

En pocas palabras, el panorama es desalentador y no queda más remedio que reflexionar seriamente en el problema y analizar las posibilidades de producción, así como hacer los ajustes necesarios, tanto estructurales como operativos y enfrentar con determinación el reto de lograr la soberanía alimentaria y el bienestar de la población.

¹⁾ Conferencia presentada en la clausura del XX Congreso Nacional de la SMCS en Zacatecas.

²⁾ Director General del Centro Nacional de Investigaciones Agrarias. Decano de Profesores del Colegio de Postgraduados, Chapingo, Méx.

POSIBILIDADES

- Afortunadamente la tecnificación ofrece grandes perspectivas.
- Es factible ampliar la frontera agrícola y elevar la productividad.
- Es posible rescatar las mermas que se tienen en la comercialización y tener una mejor distribución.
- Es posible modificar el patrón de consumo, dando posibilidades de producir nuevas especies.
- Es necesario modernizar el sector agropecuario, organizar la producción, promover la industrialización y la comercialización, y desarrollar la tecnología de acuerdo a las posibilidades de cada zona agrícola.

PROYECTOS ESPECIFICOS

El primer programa que debe analizarse es el referente al aprovechamiento actual de la producción agrícola. En granos por ejemplo se pierde el 15% desde la parcela hasta el consumo y en percederos hasta un 30%. Aunque no puede recuperarse el 100%, si se puede hablar de rescatar 10% de granos y 20% de percederos. La solución de la problemática anterior se ha canalizado a través del Sistema Nacional de Abasto, el cual, mediante centros de acopio en las zonas rurales y centros de abasto en las principales ciudades, permitirá rescatar las cifras mencionadas, por medio de la normalización en el manejo de los productos.

Por otra parte, actualmente se estima que por causa de plagas y enfermedades en los diferentes cultivos se pierde aproximadamente un 25% de la producción. De estas cifras también se podría rescatar un 15%, a través de un control integrado de plagas. Lo anterior implica que tan sólo mediante estas dos acciones se rescataría un 25% de granos y se tendrían excedentes.

Con respecto a la frontera agrícola, si ésta fuera aprovechada en su totalidad, se tendría un incremento de 45% en la superficie agrícola. Lo anterior debido a que actualmente sólo se siembran 22 millones de hectáreas de los 32 millones estimados y que de los 22 millones sembrados tan sólo se cosechan 19 millones. Además, si toda la superficie se sembrara de acuerdo con la precipitación efectiva y las demandas reales de agua de las especies cultivadas; aplicando para ello la teoría del riesgo y las teorías de juegos, así como datos climatológicos y de cultivos disponibles en el país, se ha estimado que dicha frontera agrícola podría crecer hasta 40 millones de hectáreas.

Por otro lado, si se consideran nuevas variedades como sorgo y trigo de temporal o nuevas especies como los mijos, el trigo sarraceno, la cebada desnuda, el amaranto, el girasol, la papita de monte, la calabacilla local, el árbol del pan, la chaya, la yuca, y otras especies, la frontera agrícola resulta de 60 millones de hectáreas.

La introducción de nuevas especies ofrece grandes posibilidades para cualquier país. En México el trigo es un ejemplo. Asimismo, en la década de los cincuentas, se introdujeron el sorgo, la soya y el cártamo, los cuales no se cultivaban comercialmente y ahora representan cultivos de gran importancia económica. Lo mismo sucedió con la papa en Europa o el trigo en Estados Unidos. Es conveniente, que a través de las instituciones de investigación, se establezca un programa de exploradores botánicos, que visite diversos países y traiga para México especies y variedades de uso común en otros lugares y que aquí no se cultivan en gran escala. Tal es el caso de la oca, los sorgos blancos, los mijos, la macadamia, los frutales enanos, la quinoa, la arracacha, el uluco, la nuña, el babaco, la malanga, el tamarillo, y muchas otras que pueden ser cultivadas y que permitirían aprovechar zonas marginales.

Además en estos estudios de vocación de tierras, es importante señalar que existen más de 3 millones de tierras dedicadas a la ganadería que tienen vocación agrícola. Por otra parte, debe mencionarse también que a través de bosques cultivados, se puede producir materia prima para fábricas de celulosa y reducir la superficie forestal y ampliar las superficies ganaderas y agrícolas. En estos planteamientos es conveniente que al aplicarlos, se mantenga un criterio ecológico, que permita aprovechar los recursos naturales sin deteriorar el medio ambiente.

El incremento de la superficie aprovechada mediante estas acciones, permitirá alimentar casi al doble de la población.

Analizando otro factor, se tiene que la producción de alimentos depende del agua disponible. Para el caso de México, se cuenta con una precipitación media anual de 760 mm y considerando que un cultivo como el trigo puede producir 10 toneladas de grano por hectárea, con 350 mm de lámina de agua, tenemos teóricamente agua para producir 400 millones de toneladas. Por lo que toca a las zonas de riego, tomando en cuenta que actualmente se disponen de 5 millones de hectáreas regadas con un 50% de eficiencia y que éstas producen el 50% de los alimentos, tenemos que, con las obras necesarias, tendríamos agua disponible para regar 10 millones de hectáreas y obtener el doble de la producción actual en dichas zonas.

Por otra parte, considerando al agua como factor limitante, se puede tener en condiciones de invernadero una cosecha con el equivalente a 250 mm de precipitación. Suponiendo que en esas condiciones se produjera 10 veces más rendimiento, el agua de lluvia que se tiene es suficiente para producir el equivalente a 6,000 millones de hectáreas bajo riego. Asimismo, considerando que con 10 millones de hectáreas se pueden producir los alimentos para 80 millones de mexicanos (cada hectárea produce para 8), el agua disponible sería suficiente para producir para 48,000 millones de personas. Sin embargo, considerando sólo 60 millones de hectáreas, se podría producir en invernaderos para 480 millones de personas. Estas son elucubraciones teóricas, pero dan una idea del potencial de que se dispone técnicamente y permite orientar

el desarrollo. En la práctica, cada hectárea de riego cuesta más de 700 dólares y cada hectárea de invernadero 7,000 dólares, por lo que se ve prácticamente imposible, por el momento, tener grandes superficies con estos sistemas de producción, aunque son de alta rentabilidad. Asimismo, requieren de tecnología especializada y por lo tanto de programas de capacitación.

No obstante, existen otras alternativas; el riego entubado ofrece la posibilidad de rescatar un 40% del agua que actualmente se pierde y representa un 50% del total, por lo que se pueden lograr incrementos importantes en la producción de alimentos. Otra vez, el factor a considerar es el capital necesario para introducir estos métodos de riego. Sin embargo, la tecnificación del riego actual ha permitido rescatar importantes volúmenes de agua y aún puede rescatarse más; es decir, que mientras no se cuente con recursos para entubar el agua, éste es el camino a seguir. Esto permitiría incrementar las zonas de riego en un 25%, es decir, alimentar 10 millones más de habitantes.

Por otro lado, existen otras opciones que lejos de requerir más inversiones, requieren menos que los sistemas actuales; tal es el caso de los fertilizantes. Desde un punto de vista ecológico y natural, la producción agrícola puede llevarse a cabo a través de un sistema de aprovechamiento racional de recursos que he denominado Ecofertilidad. En este sistema de producción se aprovecha, en primer término, la fijación biológica de nitrógeno en las leguminosas a través del *Rhizobium*, en las gramíneas a través del *Azospirillum*, en el arroz y terrenos inundados a través del alga verde-azul *Anabaena*, que crece en simbiosis con *Azolla pinata*, y en terrenos áridos mediante el *Azotobacter*. Por otra parte, en terrenos forestales y en algunas especies cultivadas, a través de micorrizas, se obtienen nutrimentos para las plantas.

En la actualidad, existen programas relacionados con la fijación biológica de nitrógeno en México, y ya se cuenta con cepas en cada una de estas especies y géneros.

La biología molecular ya da sus primeros pasos para introducir estas características en otras especies cultivadas.

La fijación biológica en leguminosas puede ser equivalente a 200 kg de nitrógeno por hectárea, en gramíneas a 20 kg y en arroz a 50 kg de nitrógeno por hectárea. El valor de estos nutrientes puede estimarse en el orden de 16 millones de dólares. Esta tecnología no requiere de inversiones importantes y ya se encuentra en posibilidades de utilizarse. Los grupos más avanzados en estos aspectos son: FERTIMEX, el Colegio de Postgraduados, el Instituto de Biología, y el Centro de Fijación de Nitrógeno de la UNAM, y la Escuela Nacional de Ciencias Biológicas del IPN.

Otro aspecto importante dentro de la Ecofertilidad, lo constituyen los abonos orgánicos. Los animales estabulados y semiestabulados producen 60 millones de toneladas de estiércol, cuyo valor de nutrientes es del orden de 32 millones de dólares y de los cuales se estima que sólo

se aprovecha un 20%. Asimismo, se pueden aprovechar subproductos agrícolas o agroindustriales para elaborar composta; como es el caso del bagazo de caña, la cachaza y la vinaza, el orujo de vid, la pulpa del café o las pajas, así como las basuras urbanas y las aguas negras. En todos los casos se cuenta con tecnología y experiencias de campo en México y en otros países.

Después de aprovechar estas dos fuentes de nutrientes, se puede recurrir a productos minerales no metálicos nacionales que han demostrado ser eficientes. Es necesario acidificar los suelos alcalinos a través de la aplicación de azufre y alcalinizar los suelos ácidos mediante el encalado. Estas prácticas permitirán incrementar la productividad.

Asimismo, el fósforo se puede aplicar como roca fosfórica que en suelos ácidos tiene una eficiencia similar a los superfosfatos, pero es más económica. Los resultados obtenidos por FERTIMEX y el Colegio de Postgraduados, así lo demuestran.

Por otra parte, el uso de fertilizantes fluidos como el amoníaco, el agua amoniacal, o las soluciones nitrogenadas, ofrecen la posibilidad de aprovechar productos intermedios más baratos.

México aplica ya más de 300 mil toneladas de amoníaco, cuenta con un amoniacoducto de Ciudad Madero a San Fernando, Tamaulipas, y tiene proyectos para la elaboración de soluciones nitrogenadas al 32%. Existen también en el país plantas de fertilizantes fluidos que producen suspensiones como la 8-24-0, a base de agua amoniacal y ácido fosfórico; son plantas sencillas (ollas de reacción) cuyo costo es la sexta parte de una planta de urea y que se construyen también en la sexta parte del tiempo. A base de temperatura en un reactor T, se pueden producir soluciones con las mismas materias primas que contienen los polifosfatos de amonio solubles, como la 10-34-0 ó 13-39-0.

Todas estas fórmulas se pueden mezclar con potasio y elementos menores, y aún con plaguicidas si es necesario.

Los fertilizantes sólidos deben ser el último producto que se utilice. En primer término, será conveniente utilizar el fosfato monoamónico por su alta concentración y por su mayor eficiencia en suelos alcalinos, luego el fosfato diamónico, la urea y el nitrato de amonio. No se considera conveniente utilizar el sulfato de amonio por su alto costo de producción, por su baja concentración que requiere mayores costos de transporte, más volumen almacenado y más costo de aplicación y porque no se requiere agrónomicamente, aunque algunos piensen teóricamente que baja el pH del suelo, aunque si lo haga en el punto de aplicación. En caso de que se requiere el azufre, se puede aplicar directamente como se mencionó anteriormente.

En relación con los insumos que se utilizan en la producción agrícola, es conveniente señalar que los costos de producción pueden abatirse

considerablemente. Los mayas nos heredaron el sistema de roza, tumba y quema, que en la tecnología moderna se conoce como la no labranza. La preparación de tierras, como se ha demostrado en México desde 1955: en Chapingo México, la Piedad Michoacán, El Cayal y Campeche, no es necesaria, tal como los comerciantes y fabricantes de maquinaria lo han difundido. Con sólo roturar el suelo para depositar la semilla, fertilizar y controlar las malas hierbas, es suficiente.

En Chapingo, el Colegio de Postgraduados estableció parcelas que se cultivaron por más de 20 ciclos con maíz, frijol y alfalfa, que muestran que las diversas prácticas de preparación de tierras, producen los mismos rendimientos. Después de la crisis de los energéticos en 1974, los países desarrollados, tratando de reducir el consumo de petróleo, demostraron que la labranza mínima permite obtener los mismos rendimientos, tal como lo muestran los resultados experimentales de numerosos universidades y centros de investigación en Estados Unidos y Europa, corroborando así investigaciones de los años veintes y las mencionadas en México. De ahí la idea de desarrollar maquinaria de tracción animal o motopropulsada de uso versátil y de pequeñas dimensiones como el yunticultor del antiguo INIA o los implementos similares del Centro de Edafología del Colegio de Postgraduados. Los Estados Unidos han desarrollado maquinaria para el cultivo sin labranza, y han puesto bajo cultivo más de 3 millones de hectáreas con pendientes mayores del 15%.

Sobre la línea de abatimiento de costos, es factible también, reducir la aplicación de fertilizantes, sin reducir la posibilidad de incrementar los rendimientos. Como datos generales, puede mencionarse que del nitrógeno aplicado, sólo se aprovecha un 40% y del fósforo sólo un 20%.

Las recomendaciones de fertilización se hacen sobre la base del óptimo económico; por ejemplo para 6 toneladas de maíz por hectárea en zonas de temporal, donde sólo se producen 3 toneladas, es decir, que se desperdicia el fertilizante para 3 toneladas de maíz. Lo mismo ocurre en todos los cultivos por lo que las recomendaciones deben hacerse sobre la base del rendimiento medio en la zona, más un 20% y de acuerdo con la función de respuesta más probable.

Por otra parte, el combate de plagas y enfermedades debe hacerse de acuerdo al sistema de control integrado de plagas, o control multidireccional. Deben usarse variedades resistentes y aplicar plaguicidas preventivos sólo cuando sea necesario y aplicarlos en general, sólo cuando se presente el umbral económico y dejando que actúe el control biológico natural. El uso de este sistema ha permitido abatir el número de aplicaciones en algodón en La Laguna de 12 a 4.

Los plaguicidas son cada vez más caros y más poderosos, por lo que es conveniente revisar el uso del azufre y de substancias naturales como las piretrinas para tratar de abatir costos y reducir, hasta donde sea factible, el peligro de contaminación por mal uso. Los

costos de producción por este concepto, pueden reducirse hasta en un 30% y es muy probable que la productividad se incremente.

El apoyo crediticio ha sido fundamental y en un país en crisis económica, es necesario buscar la participación de todos, por lo que debe buscarse flexibilidad. El crédito podría otorgarse como complemento de los recursos de los productores y no como una cuota fija. Si se hiciera así y además el paquete tecnológico se ajustara de acuerdo a lo que realmente es necesario, se podría tener un cubrimiento mayor, lo que mejoraría el bienestar de un mayor número de productores, y por otra parte incrementaría la producción.

En la aplicación de paquetes tecnológicos y en el uso eficiente de recursos, juega un papel muy importante la asistencia técnica. La asistencia técnica se entiende como la participación directa en las actividades del productor como apoyo, no escribiendo recomendaciones o dictando conferencias. El productor requiere asistencia técnica no sólo para el cultivo, sino también en administración y sobre todo apoyo operativo. El técnico deberá contar con el apoyo de recursos, llámense fertilizantes, semillas, plaguicidas, maquinaria o mano de obra. Si tiene todo tendrá éxito, si recomienda y no cuenta con los recursos, de poco sirve.

Es indudable que para dar la asistencia técnica y proporcionar los recursos, es necesario reducir el número de gestiones, ya que prácticamente no se puede pensar en atender los trámites y en la operación a 4 ó 5 millones de personas, por lo que la organización rural es básica. En primer término, se pueden organizar las dependencias y entidades que tienen que ver con el sector agropecuario bajo la cabeza de sector, tal como acontece en los distritos de desarrollo rural y en los estados, pero lo anterior debe ser con el poder de decisión y ejecución, es decir con los recursos en sus manos. Por otra parte, es necesario agrupar a los productores para la producción. Existen por ahora eficientes organizaciones políticas y de crédito así como algunas asociaciones que buscan mejores precios para los productos, pero son pocas las que están actuando en el quehacer diario para producir más y de mejor calidad así como para reducir la intermediación y obtener mayores precios. Estas actividades permitirán que el productor se estimule, al recuperar un 30% más del valor de la producción y sin duda permitirá incrementar la producción.

Por lo que toca a otras opciones, como son los sistemas de producción no tradicionales. Los cultivos en invernadero, permiten cultivar todo el año y obtener hasta 20 veces la producción de campo. Por el momento, existen experiencias en México, en las que se han producido 600 toneladas de jitomate por hectárea, y 450 toneladas de pepino por hectárea, pudiéndose también producir berenjena y pimiento morrón. Resolviendo el problema de mercado, una familia puede vivir con 500 m² de invernadero. Los invernaderos pueden usarse en terrenos erosionados, en azoteas, en zonas urbanas, y en donde los suelos sean inadecuados, por medio

de la hidroponia que fue usada por primera vez en el mundo en Xochimilco. La hidroponia permite elevar la eficiencia en el uso de los fertilizantes hasta un 90%, y obtener altos rendimientos.

Los invernaderos y la hidroponia permiten reducir el uso del agua hasta un 30% del consumo normal en el campo, y reducen el problema de plagas y enfermedades, aumentando la producción, como ya se mencionó, hasta 20 veces.

Ha sido muy popular el programa de huertos familiares, que en países como Japón y prácticamente en todos los países europeos, es muy común. Sin embargo, los huertos familiares representan una nueva cultura en la producción y en el consumo, es una parcela familiar y así debe desarrollarse. En primer término, deberán establecerse donde haya agua. Las especies por cultivar y las áreas que se cultiven, deberán estar de acuerdo con los requerimientos del consumo.

En las zonas urbanas, también se pueden cultivar algunas hortalizas de hoja, y cuando sea factible, algunas raíces comestibles y productos que se consumen en pequeñas cantidades, siempre cuidando el aspecto del agua. En el futuro, estas prácticas se irán haciendo más comunes, y en muchos casos la hidroponia jugará un papel importante.

Con respecto a árboles frutales, se han desarrollado métodos de plantación, como es el de espaldera, los emparrados en el caso de la vid, que permiten incrementar la población de árboles por hectárea, hasta 40 veces, con un incremento en los rendimientos hasta de 10 veces.

Desde el punto de vista genético, se han obtenido variedades enanas, que permiten también tener grandes poblaciones que facilitan las labores de control fitosanitario y de cosecha, y tienen altas producciones. Estas variedades enanas se pueden cultivar bajo condiciones de invernadero con alta productividad y excelente calidad.

Otra opción que ha dado buenos resultados y que se impulsará más, son los germinados, tanto para consumo animal como para consumo humano. En Tehuacán, Puebla, se engordan cerdos con germinados de cebada, con ahorros de 28% en el costo de producción por kg de carne. Estos germinados se han usado también para alimentar vacas lecheras. Los germinados para consumo humano, son parte del patrón de consumo de muchos países en Asia y han entrado a México con gran aceptación; por lo pronto, se consumen germinados de soya, alfalfa, y en el futuro se consumirán los de lenteja, garbanzo, frijol y de muchos otros.

La producción de carne en corrales de engorda, tiene ya antecedentes y ofrece grandes posibilidades. Los corrales de engorda abastecidos con subproductos de la industria azucarera, como es el caso de los ingenios de Zacatepec y el Mante, pueden extenderse a todas las zonas cañeras y así engordar hasta 1'000,000 de cabezas por año. El alimento puede ser médula,

bagazo, melaza, amoníaco o urea, ácido fosfórico, vitaminas y minerales; los costos de producción se abaten considerablemente; se eliminaría la importación de granos y se le da mayor valor agregado a los productos que exportamos. Se exportaría carne, se cuenta con rastros tipo inspección federal y sólo falta gestionar su registro a nivel internacional.

Existen otras posibilidades con gran futuro. El mejoramiento genético de las especies cultivadas y las que se introduzcan ofrecen grandes posibilidades. Más aún la biología molecular ha comenzado a dar frutos y cambiará la biósfera en el planeta. Es posible a través de la ingeniería genética producir nuevas plantas, introducir las características de fijación de nitrógeno en plantas que no la tienen, producir cepas de mayor efectividad en la fijación de nitrógeno, y buscar resistencia a la sequía, a las heladas, a la salinidad, darle capacidad a las plantas para aprovechar el fósforo en suelos de Ando, crear plantas resistentes a las plagas y a las enfermedades.

Actualmente es posible aislar células, esterilizarlas, plasmolizarlas, destruir con enzimas la pared celular y obtener protoplastos. Estos protoplastos se despolarizan y se pueden fusionar y obtener células con diferente información genética; posteriormente se regenera la membrana celular, se pone en un medio de cultivo adecuado y se forman callos; se les trata con auxinas y citocininas y se induce la diferenciación para obtener las nuevas plantas con características superiores. También es posible cortar las cadenas de ADN e introducir nueva información genética. Ya se han tenido resultados con bacterias, y se han obtenido nuevas plantas, pronto se podrán diseñar las plantas que se requieren.

En México se ha trabajado en cultivos como tabaco, en el cultivo de anteras o granos de polen que producen plantas haploides y que a través del uso de colchicina, pueden volver a ser plantas diploides con las características deseadas. La información genética se ha podido introducir a través del *Agrobacterium tumefaciens* y recientemente esta información genética se puede introducir a través de "pistolas" de genes que impulsan los genes a través de las paredes celulares.

La técnica de cultivo de tejidos ha permitido la reproducción masiva de plantas con características deseables y ya es una práctica común en muchos laboratorios. Su aplicación se irá perfeccionando a través de los siguientes años. Esta técnica permite la obtención de plantas libres de virus, cuando se cultivan meristemos o ahorrar varios ciclos de cultivo.

En el terreno de los alimentos ya se cuenta con nuevas y grandes opciones. El pan, las galletas y pastas se pueden elaborar si además del trigo se usa cebada desnuda, triticale, yuca, papa y amaranto entre otras especies. Unas especies como sustitutos de carbohidratos y otras como enriquecedores proteicos.

Las tortillas se pueden elaborar con sorgo blanco o con sorgo común descuticulizado con un procedimiento desarrollado en México, el cual elimina los polifenoles que son tóxicos; como complemento se pueden usar papa o yuca.

Una de las actividades de alto consumo de granos es la industria de alimentos balanceados. En el renglón de las proteínas ya se cuenta con experiencia a nivel de planta piloto en la producción de proteína unicelular y pronto se aplicará en la producción comercial de alimento para ganado. Se produce ya en México lisina a través de Fermentaciones Mexicanas, una paraestatal de la SARH en coparticipación con Japón. Se ha producido metionina en una planta originalmente de Albamex. Adicionalmente se puede producir triptofano y triptofano y ya no sería necesario importar granos, porque estos serían sólo para consumo humano. Algunos de estos productos ya forman parte de la dieta de los humanos en otros países, se comienzan a utilizar en México y se generalizará su uso en el próximo siglo.

También existen posibilidades en el consumo de insectos, los cuales forman parte de la dieta en zonas rurales, como son las hormigas, las avispas, los chapulines, los jumiles, las chinches, el ahuate, los gusanos y los escamoles entre otros. Algunos ejemplos de estos alimentos se pueden ver en el listado del Cuadro 1.

Cuadro 1. Ejemplos de insectos empleados como alimento humano.

Nombre común	Nombre científico	Lugar de consumo
Mariposa del muerto	<i>Erebus otoratus</i>	Huajuapán de León, Oaxaca
Chapulín	<i>Sphenarium Acridiidae</i>	Edo. de México
Chapulín	<i>Sphenarium Magnum</i>	Oaxaca
Chapulín	<i>Taeomipora Sp.</i>	Morelos
Jumiles	<i>Edessa Conversa</i>	Ozumba, México
Jumiles	<i>Atlisies Taxcoensis</i>	Taxco, Gro.
Chinche Acuática Ahuate	<i>Krizousacorixa Azteca</i>	Lago de Texcoco
Botija Larra	<i>Sciphophorus Acupunctatus</i>	Edo. de México, Edo. de Hidalgo
Gusano de maguay	<i>Aegiale Hesperiaris</i>	Edo. de México, Edo. de Hidalgo
Gusano elotero	<i>Fleliothis Sea</i>	Edo. de México
Gusano rosado del maguay	<i>Cossus Redtenbachi</i>	Edo. de México, Hidalgo, Querétaro, Morelos
Escamoles	<i>Licmetum Apiculatum</i>	Tulancingo, Hgo.

Existen, como ya se mencionó anteriormente, numerosas especies por aprovechar, provenientes de zonas desérticas, templadas y tropicales. En el renglón de los hongos hay un buen potencial que se usa parcialmente. Existen plantas marinas con grandes posibilidades de aprovechamiento terrestre y de las cuales ya se cultiva con apoyo de FIRA en coordinación con la Universidad de Arizona, la primera especie regada con agua de mar, llamada salicornia y que producirá aceite y proteínas.

En las zonas lacustres o en los cuerpos de agua salinos, como el Lago de Texcoco, se cultiva la espirulina, un alga de alto contenido proteico, que tiene ya demanda en el mercado y puede producirse en mayor volumen.

La acuicultura ofrece grandes posibilidades, actualmente ya se producen alrededor de 100,000 toneladas de mojarra, carpa, charal, lobina, bagre y langostino, y se incrementará la producción cuando menos 10 veces.

En lo que respecta a la ganadería, los avances tecnológicos además de lo relativo a los alimentos balanceados, fundamentalmente se basan en la obtención de variedades de más alta calidad, en lo que se refiere a leche y carne, las cuales son más eficientes en el aprovechamiento de los alimentos.

Otros avances en el área de nutrición, son el aprovechamiento de desechos y subproductos por parte de los rumiantes, fundamentalmente encaminados a reducir costos, y elevar la calidad nutricional, y la síntesis de aminoácidos protegidos para no sufrir daño en los estómagos y llegar íntegros al intestino (sitio de absorción).

Recientemente, se ha generalizado la inseminación artificial en ganado estabulado productor de leche, y se comienza a incrementar el uso de esta técnica en ganado productor de carne. Asimismo, se practica ya con buenos resultados el trasplante de embriones de vacas de primera a vacas de inferior calidad.

Dentro de las técnicas reproductivas, actualmente se aplican: la sincronización de celos; el control de la ovulación y superovulación; la inducción de ovulación en animales prepúberes; la predeterminación de celo; la manipulación de embriones (clonación y quimeras); la inducción de lactación en animales de desecho o infértiles; el control de parto; el diagnóstico de gestación y la detección de calores, mediante diversos métodos, que van desde observación hasta perros entrenados, pasando por aparatos electrónicos.

Por otra parte, se han desarrollado algunas razas gigantes y otras enanas, que permiten utilizar más eficientemente los alimentos.

Desde el punto de vista de la fauna, existen numerosas especies que pueden utilizarse para la producción de proteína animal, como es el caso del conejo que puede resultar rentable si se comercializa el pelo para la industria textil, la iguana, las víboras, sólo por citar algunas.

Como se puede observar, el reto es muy grande e imposible de resolver con las tendencias actuales en las que se encuentra el país, donde las tasas de crecimiento de la producción se van reduciendo.

Sin embargo, las posibilidades tecnológicas son muy grandes, rescatando tecnologías autóctonas, usando los recursos del país y aprovechando los grandes descubrimientos del hombre en el presente.

El éxito, no cabe duda, depende del apoyo que se pueda proporcionar al sector rural, con infraestructura, insumos, créditos y asistencia técnica; en el apoyo a la investigación agropecuaria, enfocada a la producción de más y mejores alimentos.

**CLOROSIS FERRICA: DEFINICION, CAUSAS, IMPORTANCIA
Y ALTERNATIVAS EN MEXICO ¹⁾**

Francisco Rodríguez Neave ²⁾

INTRODUCCION

La clorosis por deficiencia de hierro, fue primeramente demostrada por Gris, en 1843 (Vose, 1982). El observó que la aplicación foliar del sulfato ferroso, reverdecía el cultivo de la vid que crecía en suelos con carbonato de calcio. De esta manera, el hierro fue el primer micronutriente que se estableció como esencial para las plantas superiores.

Desde entonces se inició la investigación para identificar las causas y las condiciones que provocan la clorosis por deficiencias de hierro. Así tenemos que para la década de los 50, Thorne et al. (1951) y Wallace y Lunt (1960) recopilaron y propusieron una serie de hipótesis en relación con lo anterior.

Actualmente se han llevado a cabo tres simposios internacionales sobre el tema: "La Nutrición de las Plantas con Hierro y sus Implicaciones", en donde se han debatido esos problemas. Se ha establecido que la clorosis por deficiencia de hierro es más probable que se desarrolle cuando se tienen dos condiciones: (a) cultivo susceptible a la deficiencia de hierro, y (b) suelo alcalino (sobre todo aquel con carbonato de calcio). Asimismo, se ha identificado al bicarbonato (HCO_3^-) como una de las principales causas bajo las condiciones anteriores.

En México, esas condiciones se encuentran comúnmente, ya que se siembran cultivos susceptibles a la deficiencia de hierro, tales como el sorgo, maíz, caña de azúcar, arroz, soya, frijol, cacahuete, jitomate, algodón, uva, cítricos, manzana, aguacate, plátano, pera, etc. Asimismo se tiene que, muchos de nuestros suelos cultivados son alcalinos y pueden contener carbonatos de calcio, como se deduce de los resultados de Ortíz (1985). Este autor menciona que de las 28.8 millones de hectáreas cultivadas, el 24% son Vertisoles, el 11% Xerosoles, el 11% Regosoles, el 5% Litosoles, el 5% Cambisoles, el 4% Rendzina, etc. (Cuadro 1). Las condiciones áridas y semiáridas predominantes, además del material madre sedimentario (como la caliza) e ígneo (como el basalto) hacen posible aquellas características.

DEFINICION

La clorosis es un amarillamiento de las partes verdes de la planta, principalmente las hojas. La clorosis por deficiencia de hierro (clorosis férrica), generalmente comienza por las hojas jóvenes en donde las nervaduras principales permanecen verdes y el tejido internerval está amarillo. Cuando la deficiencia de hierro es muy drástica, la clorosis abarca toda la planta, llegando a manifestar coloraciones amarillo-claras (aún las nervaduras principales). Chaney (1984) define la clorosis férrica como cualquier amarillamiento de las hojas, las cuales pueden reverdecer con la aplicación de FeSO_4 (sulfato ferroso)

Cuadro 1. Estimación de la superficie de suelos predominantes, bajo agricultura de temporal y de riego en México, de acuerdo al sistema FAO/UNESCO (Ortíz, 1985).

Unidad de suelos	Agricultura de temporal (20.1×10^6 ha)	Agricultura de riego (8.7×10^6 ha)
	%	%
Vertisol Pélico	18.08	24.93
Faeozem Háptico	12.16	6.54
Vertisol Crómico	- ¹⁾	13.45
Xerosol Háptico	5.77	13.26
Regosol Eútrico	12.08	3.90
Litosol	7.80	-
Rendzina	5.92	-
Yermosol Háptico	-	9.43
Xerosol Lúvico	-	7.05
Cambisol Eútrico	4.07	5.72
Regosol Calcárico	-	4.41
Luvisol Crómico	2.85	-
Castañozem Lúvico	2.77	-
Andosol Húmico	2.60	-
Xerosol Cálxico	-	3.62

¹⁾ Donde no se anotan datos, puede ser que la superficie sea muy reducida o no se encuentren esos suelos.

¹⁾ Conferencia presentada en el XX Congreso Nacional de la SMCS.

²⁾ Profesor-Investigador del Departamento de Suelos, UACH, Chapingo, Méx.

o Fe-EDDHA (etilendiamindihidroxifenilacetato de hierro), pero no por la aplicación de N, S, Zn, Mn, Cu, u otro nutrimento solo o en combinación entre ellos.

En ocasiones la clorosis férrica puede ser confundida con la clorosis por deficiencia de manganeso. Según Chaney (1984) en la clorosis férrica las nervaduras son más oscuras que en el otro tipo de clorosis. Asimismo, se tiene que en la deficiencia de manganeso, el amarillamiento internerval es en forma casi de puntos pudiendo llegar a la necrosis.

Si la duda persiste, será necesario utilizar otra información, como el análisis foliar, aplicación de fertilizante, condiciones de clima y suelo, para poder resolver el problema.

La clorosis por deficiencia nutrimental puede presentarse por tres razones: (a) por restricciones en la síntesis de la clorofila; (b) por degradación de las capas protéicas en el tilacoide y fotólisis de la clorofila, y (c) por la disminución en la síntesis de la clorofila y por la degradación de la misma.

Para el caso de la deficiencia de hierro, Miller et al. (1984) muestran evidencias en el sentido de que se daña la síntesis de clorofila. Según estos autores, los ácidos cetoglutaricos o glutamato son transformados en ácidos aminolevulínicos, por medio de la acotinasas y la ferredoxina. Los ácidos aminolevulínicos son precursores de la clorofila y los grupos heme. Cuando existe una deficiencia de hierro, la formación de la ferredoxina es dañada.

Por su parte, Spiller y Terry (1980) dan evidencias en el sentido de que la deficiencia de hierro también puede dañar la síntesis de la membrana de los cloroplastos y los demás complejos proteína-clorofila implicados en la absorción de la luz solar.

Otra característica de la clorosis férrica es la aparición por manchones en los terrenos cultivados, es decir, no es una manifestación uniforme como sucede con la deficiencia del nitrógeno. En ocasiones esos manchones pueden coincidir con la topografía del terreno, es decir, en partes elevadas (por la poca profundidad del suelo) o en partes bajas (por el probable exceso de humedad).

Puede suceder también que no se observen diferencias aparentes en el suelo, entre las manchas cloróticas y el resto del terreno; así como que tampoco se encuentre una clara diferenciación en los parámetros químicos generales (materia orgánica, carbonato de calcio, etc.) en ambas muestras de suelo (Anderson, 1982). Sin embargo, cuando se analizan parámetros químicos más específicos (tamaño y mineralogía del carbonato de calcio, concentración del bicarbonato, etc.), es más probable encontrar diferencias entre el suelo de las manchas cloróticas y el resto del terreno, como lo demuestran los trabajos de Loepfert y Hallmark (1985), Inskip y Bloom (1986), y Kolesch et al. (1987a, 1987b) (Cuadro 2 y 3).

Cuadro 2. Coeficientes de correlación entre la manifestación visual de la clorosis férrica en sorgo y diferentes parámetros de 24 suelos, cuyo contenido de CaCO₃ oscila entre 1% y 35%. (Loepfert y Hallmark, 1985).

	Evaluación visual de la clorosis
CaCO ₃ totales	-0.173
CaCO ₃ totales vs CaCO ₃ arcilla	-0.12
Arcilla total	-0.785
Carbono orgánico	-0.638
Fe-extraído con oxalato de NH ₄	-0.742
Fe-extraído con DTPA	-0.602
pH (KCl)	+0.820
Mg en el extracto de saturación	+0.587

Si una clorosis férrica implica una baja cantidad de clorofila, llegando en ocasiones al poco crecimiento de la planta y clorosis total, esto se traduce necesariamente en una reducción en el rendimiento potencial. Wallace (1986) menciona que aunque no exista una manifestación visual de la deficiencia de hierro (clorosis férrica), sí es posible que se produzca una reducción en el rendimiento por escasez de ese nutrimento. Por su parte, Anderson (1982) encontró que la corrección de una clorosis férrica ligera, no necesariamente se traduce en un incremento en el rendimiento, y que el aumento es cada vez más significativo cuando la clorosis corregida es más severa. Fehr (1982) (citado por Fleming et al., 1984), al trabajar con soya, observó que se produce un abatimiento en su rendimiento potencial en función del tiempo que sufrió de clorosis.

En México, los trabajos relacionados con la cuantificación del daño producido por la clorosis férrica han sido pocos. Para el caso del sorgo podemos citar a Rodríguez (1986), quien menciona que este problema es importante, ya que puede provocar muy bajos rendimientos de grano (18-200 kg/ha) y que en muchos casos las plantas llegan a secarse antes de la floración. Por su parte, Uvalle-Bueno et al. (1985) mencionan para el cultivo de soya en el Valle del Yaqui, que las pérdidas pueden ser del orden de 500 a 2000 kg/ha debido al problema de la clorosis férrica. García (1986) señala que, en la región de Tamaulipas, el hierro es el micronutriente cuya deficiencia se presenta con más frecuencia.

CONDICIONES Y CAUSAS DE LA CLOROSIS FERRICA

La causa última de la clorosis férrica se debe principalmente a la baja actividad del hierro dentro de la planta. Lo anterior se puede relacionar con la presencia de los bicarbonatos, tanto en el suelo como en la planta. De esta manera, la aparición de la clorosis férrica puede ser explicado tanto por condiciones edáficas como por la condición genética de los cultivos.

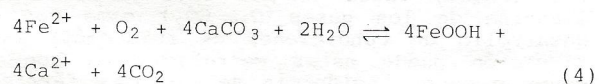
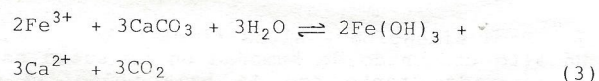
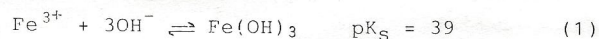
Cuadro 3. Relación entre la concentración volumétrica de la humedad (Hv), espacio poroso (Ep), presión parcial del CO₂ (Pc), concentración volumétrica del HCO₃⁻, y el grado de clorosis férrica en soya (Anoka) creciendo en un suelo con 13.5% de CaCO₃ (Bloom e Inskeep, 1986)

Hv (cm ³ /cm ³)	Ep	Pc (cmol/mol)	HCO ₃ ⁻ (mmol/dm ³)	Grado de clorosis	
				Visual	Clorofila (µg/cm ²)
0.27	0.27	0.2	1.3	1	54.0
0.34	0.23	0.2	2.3	1	32.0
0.41	0.07	1.6	2.7	2	26.0
0.43	0.14	0.4	3.2	4	12.0
0.46	0.08	1.2	3.9	5	7.2
0.50	0.07	1.1	4.8	5	5.9
0.54	0.00	1.6	5.9	4	17.0

Condiciones edáficas

Las condiciones edáficas que pueden conducir a la aparición de la clorosis férrica son las siguientes: (1) condiciones alcalinas y/o presencia de carbonatos (de Ca y/o Mg); (2) baja cantidad de óxidos de hierro amorfo; (3) poca aireación - altos niveles de humedad; (4) abonos orgánicos y materia orgánica del suelo; (5) interacciones negativas con macro- y micronutrientes; y (6) temperaturas extremas.

1. Condiciones alcalinas - presencia de carbonatos. Estas condiciones son las más probables para el desarrollo de la clorosis férrica. Lo anterior se debe a la baja cantidad de hierro en la solución del suelo, en ocasiones menor que el contenido existente en las aguas naturales como lo señalan Chen y Barak (1982) y Lindsay (1984). Esto resulta de la precipitación del hierro en condiciones alcalinas y calcáreas, de acuerdo a las siguientes reacciones (Loeppert, 1986 y Mozafar y Oertli, 1986):



Para el caso de la reacción (2), el Fe²⁺ en condiciones normales de oxidación del suelo pasa rápidamente a Fe³⁺, predominando por consecuencia la reacción (1) (Mozafar y Oertli, 1986). En la ecuación (4), Loeppert (1986) establece que el Fe²⁺ puede dar origen a la lepidocrita (γ-FeOOH) y la goetita (α-FeOOH), óxidos de hierro con menor solubilidad que los hidróxidos, tales como el Fe(OH)₃-amorfo (ferrihidrita) y el Fe(OH)₃

del suelo. De acuerdo con las reacciones anteriores y a los productos de solubilidad de los precipitados, el hierro disuelto en una solución con pH 7 a 8 puede alcanzar valores del orden de 10⁻¹⁸ M o menores (Mozafar y Oertli, 1986). Lo anterior explica la baja efectividad del sulfato ferroso, aplicado a los suelos con carbonato de calcio para corregir la clorosis férrica.

No obstante lo anterior, en el rango de pH de 7.0 - 8.5 (normal de los suelos con carbonato de calcio), donde según Lindsay (1984) ocurre la menor solubilidad del hierro, se encuentran en la solución del suelo varias especies iónicas de Fe³⁺ del orden de 10⁻¹⁰ M. Esta gran diferencia con el grado de solubilidad arriba anotado se explica por varios factores edáficos, los cuales pueden modificar la estabilidad de los diferentes compuestos de hierro (Chaney, 1984; Uren, 1984). Chen y Barak (1982) discuten el caso de la materia orgánica, cuya influencia se ubica, como se discutirá posteriormente, desde la formación de complejos orgánico-minerales, mayor disolución de los diferentes compuestos de hierro (por los quelatos), hasta la prevención de la cristalinización del hierro que está siendo liberado. El mantener los precipitados de hierro en sus formas amorfas (no cristalinas), contribuye a mantener una mayor solubilidad de ese nutriente.

Otros factores edáficos que explican la mayor solubilidad del hierro en el suelo, son el contenido de arcilla y las condiciones de reducción. El mayor contenido de arcilla puede evitar la cristalinización de las formas amorfas de los hidróxidos de hierro, como lo señalan Loeppert y Hallmark (1985). Asimismo, aquellos sitios del terreno que desarrollan condiciones de reducción, contribuirán a aumentar la solubilidad de los compuestos de hierro (Lindsay, 1984); lo cual puede suceder en aquellos suelos arcillosos con alta contenido de humedad y/o con aplicaciones de abonos orgánicos.

Lindsay y Schwab (1982) encontraron que el nivel crítico de Fe en solución es del orden de 10^{-8} M, debajo del cual las plantas pueden llegar a desarrollar clorosis férrica. En este sentido, los cultivos que se desarrollan bajo condiciones de suelo con carbonato de calcio, se encuentran en estado de stress por deficiencia de hierro. Algunos cultivos pueden sobreponer ese stress por mecanismos específicos de respuesta, fenómeno que será tratado posteriormente.

Sin embargo, no siempre existe una relación directa entre el contenido de carbonatos de calcio y el grado de clorosis férrica que pueden llegar a desarrollar los cultivos (Loeppert y Hallmark, 1985) (Cuadro 2). Por ejemplo, Loeppert et al. (1984) reportan en cultivos que se desarrollaron en suelos con menos de 1% de CaCO_3 clorosis severa, mientras que los mismos cultivos sólo desarrollaron clorosis ligera en suelos con más de 10% de CaCO_3 . Así también, en un mismo terreno con igual contenido de CaCO_3 , se pueden encontrar manchones con plantas que muestran clorosis, mientras que las plantas vecinas no muestran ningún síntoma aparente. En este caso las diferencias se pueden deber, más que a la concentración total de CaCO_3 , a la topografía del terreno o al tamaño de las partículas de CaCO_3 . Así podemos encontrar partes bajas, donde la acumulación de agua y sales es más probable; también podemos encontrar partes altas, donde el suelo puede ser poco profundo por afloramiento del material madre.

De lo anterior se deduce que es necesario considerar otra serie de factores edáficos para explicar la aparición de la clorosis férrica. Entre esos factores están los siguientes: (a) tamaño de partícula y mineralogía de los carbonatos; (b) contenido y mineralogía de los óxidos de hierro; (c) grado de saturación de humedad; y (d) concentración del HCO_3^- (Cuadro 2 y 3).

Inskeep y Bloom (1986) encontraron que la aparición de la clorosis férrica es más probable en suelos donde el contenido de CaCO_3 del tamaño de arcilla (carbonatos activos) es mayor. La razón de lo anterior se debe a la mayor área superficial o de contacto de dichos carbonatos. Esto provoca un aumento en: (a) la disolución de los carbonatos y formación de HCO_3^- (Chaney, 1984), aunque Bloom e Inskeep (1986) señalan que en este aspecto es más importante la sobresaturación de la solución del suelo en relación a la calcita pura; (b) la posibilidad de que las secreciones ácidas de la raíz sean neutralizadas (Loeppert, 1986), y (c) el recubrimiento de los óxidos de hierro precipitados, por dichos carbonatos, reduciéndose por tanto la posibilidad de ser solubilizado por las raíces de las plantas, como lo señalan Chen y Barak (1982).

En relación con la mineralogía de los carbonatos, se ha encontrado que a mayor contenido de Mg es más probable la incidencia de la clorosis férrica (Inskeep y Bloom, 1984; Loeppert y Hallmark, 1985). Wallace et al. (1976d)

indujeron la clorosis férrica en frijol, al hacerlo crecer sobre un suelo no calcáreo con 1/2% de MgCO_3 (Cuadro 2).

Inskeep y Bloom (1984) encontraron que, en presencia del Mg, se daba la sobresaturación de la solución del suelo con respecto a la calcita pura. Esta sobresaturación puede ser explicada por un incremento en la solubilidad de la calcita, ya sea por la incorporación del Mg^{2+} en ese mineral (Bloom e Inskeep, 1986) o por un abatimiento en la velocidad de precipitación de la solución saturada por la presencia del Mg^{2+} . Finalmente, esto conduce a una mayor producción del HCO_3^- , anión que Mengel y Geurtzen (1986) han identificado como una de las causas principales de la clorosis férrica, como señalábamos anteriormente. Por otro lado, Inskeep y Bloom (1984) han deducido que el Mg^{2+} puede competir con el Fe^{2+} por las sustancias derivadas de la secreción radical, como reductantes, quelatantes, etc.

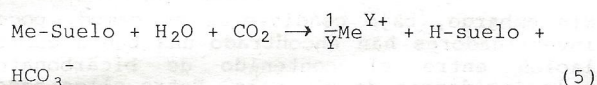
2. Baja cantidad de los óxidos de hierro amorfos. En relación con los óxidos de hierro, Loeppert et al. (1984) y Loeppert y Hallmark (1985) han encontrado una correlación negativa entre el contenido de Fe-extractable en oxalato de amonio y la intensidad de la clorosis férrica (Cuadro 2). El hierro extraído con oxalato de amonio se ha identificado como una medida de los óxidos de hierro amorfos y pseudocristalinos, como la ferrihidrita.

Ese tipo de compuestos poseen una alta área superficial, de tal manera que pueden ser disueltos con mayor facilidad en la rizósfera, en comparación con las otras formas cristalinas (goetita o hematita), como lo señalan Uren (1984) y Loeppert y Hallmark (1985). Esta es la razón por la cual el Fe^{3+} puede ser más eficiente a largo plazo, para abastecer a una planta deficiente, ya que en este caso el Fe^{3+} precipitará para formar compuestos amorfos o de baja cristalinización (ver ecuación 4), como se deduce de los resultados de Anderson (1982) y de Vempati y Loeppert (1986).

3. Poca aireación - altos niveles de humedad. Un alto contenido de humedad en un suelo está relacionado, tanto con la baja velocidad de difusión de los gases (O_2 , CO_2) como con el desarrollo de condiciones de reducción. Esta situación puede estar correlacionada con la mayor o menor incidencia de clorosis férrica, respectivamente (Cuadro 3). Cuando el contenido de humedad tiende a la saturación (potencial hídrico tiende a cero), la incidencia de la clorosis para la soya aumenta en relación con lo que sucede con los mismos suelos, pero con menor contenido de humedad (Inskeep y Bloom, 1986).

Esta situación ya había sido reportada por Molz en 1907 al trabajar con la vid (Mengel y Geurtzen, 1986). Un alto contenido de humedad dificulta la difusión del CO_2 en el suelo.

Lo anterior ocasiona una mayor disolución de CO_2 en el agua y una mayor formación de bicarbonatos, como se ve en el Cuadro 3, y se muestra en la siguiente ecuación:



donde M es un catión intercambiable (Bloom e Inskeep, 1986). Esto sucede tanto en suelos con carbonato de calcio como en suelos que no lo contienen, pero en el primer caso se encuentra una mayor cantidad de HCO_3^- .

Una situación diferente se observa en los suelos inundados, es decir aquellos suelos que soportan una capa de agua sobre su superficie. Bajo esta situación las condiciones de reducción son más importantes, de tal manera que se obtienen un aumento en la disponibilidad del hierro, como lo señalan Patrick y Mikkelsen (1971) y Ponnampuram (1972). Esto es un efecto benéfico para aquellos arrozales que se encuentran creciendo sobre suelos alcalinos o con carbonatos de calcio, como es el caso en el estado de Morelos (Longoria et al., 1975); sin embargo, cuando el suelo es ácido pueden crearse problemas de exceso de hierro.

Los altos contenidos de humedad implican también una baja velocidad de abastecimiento del O_2 a las raíces y generación de etileno. La producción de etileno ha sido reportada como uno de los factores que podrían ocasionar a propiciar la clorosis férrica bajo esas condiciones (Chaney, 1984; Lindsay, 1984; Bloom e Inskeep, 1986; Mozafar y Oertli, 1986). Tanto la deficiencia de O_2 como la presencia de etileno, pueden provocar una reducción del metabolismo y crecimiento radical, dañando consecuentemente la capacidad de absorción de nutrimentos.

4. Abonos orgánicos y materia orgánica del suelo. En varios trabajos se han encontrado una correlación negativa alta entre la materia orgánica del suelo y la clorosis férrica (Loeppert et al., 1984; Loeppert y Hallmark, 1985). Esto puede ser explicado por varias razones: (a) la formación de complejos orgánicos con el hierro (como los quelatos), que ayudan a aumentar la solubilidad de los compuestos de hierro (Chen y Barak, 1982). Aunque Uren (1984) menciona que estos deberán ser diferentes a los que puedan formarse con los humatos y los fulvatos, debido a que las constantes de estabilidad de éstos son relativamente bajas; (b) por la estabilización de los compuestos de hierro en formas con bajo grado de cristalinización, siendo mayor de esta manera su solubilidad, como lo señalan Loeppert et al. (1984); y (c) una mayor producción de sideróforos, por efecto de la mayor actividad microbiana, facilitan un aumento en la solubilización y abastecimiento del hierro hacia la raíz de la planta, sobre todo para dicotiledóneas, como lo señalan Brown y Jolley (1986), Hemming (1986) y Marschner (1986).

Sin embargo, se ha encontrado también que altas dosis de abonos orgánicos pueden inducir la clorosis férrica, como lo señala Loeppert (1986). Esto puede ser explicado por varias razones: (a) por un aumento en la cantidad y tipo de quelatos, y, en general de las sustancias formadoras de complejos (orgánico-férricos), de tal manera que al aumentar la proporción molar entre esos ligandos y el hierro disponible, se reduce la absorción de hierro por la planta (Uren, 1984), y (b) por un aumento en la concentración de CO_2 , como consecuencia de la mayor actividad microbiana, el cual bajo condiciones de reducida aireación puede incrementar la concentración de bicarbonato, según se representa en la ecuación 5.

5. Interacciones negativas con macro- y micronutrientes. Bajo condiciones controladas es posible inducir clorosis férrica con la aplicación creciente de fósforo, nitrógeno (NO_3^-), zinc, cobre, manganeso (Watanabe et al., 1965; Chen y Barak, 1982; Patel et al., 1976; Wallace et al., 1976a, 1976b, 1976c; Mengel y Geurtzen, 1986).

Se ha encontrado una relación positiva entre el contenido de fósforo extractable en el suelo y la manifestación de la clorosis férrica (Inskeep y Bloom, 1986; Kolesch et al., 1987a). Asimismo se ha observado la misma relación entre un alto contenido de fósforo en la planta y la clorosis férrica (Mengel et al., 1984; Inskeep y Bloom, 1984). De acuerdo con Mengel y Geurtzen (1986), se pueden asegurar que esas relaciones no son causa-efecto. Los mayores niveles de fósforo encontrados tanto en el suelo como en la planta, pueden ser el resultado, tanto de la acidificación de la rizósfera de las plantas cloróticas (Mengel et al., 1984) como de la mayor concentración de bicarbonatos en el suelo que provoca la clorosis (Brown y Jolley, 1986; Inskeep y Bloom, 1986; Kolesch et al., 1987b).

Sumner y Farina (1986) concluyen que, en cultivos creciendo en suelos de naturaleza alcalina, es probable la aparición de la clorosis férrica, más como un resultado del elevado pH que de las reacciones del hierro con el fósforo en dichos suelos. Aunque es probable que en condiciones de alta fertilización fosfórica, este elemento sea un factor adicional que contribuya a agravar la clorosis férrica.

En relación con el cobre, se ha demostrado que niveles altos de este micronutriente en el suelo reducen la absorción del hierro, pudiendo llegar a inducir clorosis férrica como lo señalan Wallace et al. (1976c) y Chaney (1984). Olsen et al. (1982) señalan que el cobre inhibe la reducción del Fe^{3+} por las raíces. Sin embargo, una elevada disponibilidad de cobre en los suelos no es muy común, a menos que se utilicen pesticidas que contengan este elemento (Lindsay, 1984), tales como el caldo bordelés u otros.

Una alta disponibilidad de manganeso en el suelo, también puede conducir a una clorosis férrica. Esto sucede porque el Mn compite por los sitios de absorción del Fe y/o compite por los procesos metabólicos (Zaharieva, 1986). Este autor, al trabajar con varias especies (maíz, soya y cacahuate) cultivadas sobre suelos con carbonato de calcio, observó que las plantas que tenían una relación Mn_{total}/Fe^{2+} mayor de 1 presentaban clorosis. Sin embargo, alta disponibilidad de manganeso se observa generalmente en suelos ácidos (Lindsay, 1984) o bajo condiciones de reducción del suelo (generalmente no muy severas).

Para el caso del nitrógeno, se ha observado que cuando los cultivos se alimentan mayormente con NO_3^- , se puede llegar a provocar una clorosis férrica, sobre todo en aquellas condiciones donde la disponibilidad del hierro es baja (Wallace y Cha, 1986). Chen y Barak (1982), analizando esta situación, señalaron que una gran absorción de nitratos por las plantas conduce finalmente a una liberación de OH^- en la rizósfera; lo cual trae como consecuencia un aumento en el pH y la formación de bicarbonatos. Mengel y Geurtzen (1986) muestran evidencias que ubican a los bicarbonatos como una de las causas principales de la clorosis férrica.

Cuando alguna de estas interacciones negativas se presentan en condiciones con baja disponibilidad del hierro, como son los suelos con carbonatos de calcio, pueden contribuir a agravar la clorosis férrica.

6. Temperaturas extremas. Chaney (1984) señala que cuando las raíces crecen en condiciones de baja temperatura, se puede llegar a provocar una clorosis férrica. Walker et al. (1971) mencionan que la soya tiene una menor capacidad de responder al stress de hierro, cuando las raíces se encuentran en un ambiente de baja temperatura. Asimismo, Zaiter et al. (1986) encontraron que, en suelos con baja temperatura y reducida disponibilidad de hierro, la respuesta del frijol al stress de hierro fue insuficiente para cubrir las necesidades de este nutrimento. Inskeep y Bloom (1986) demostraron que la soya desarrollaba más rápidamente clorosis, cuando las temperaturas del suelo eran menores que $12^\circ C$ o mayores que $26^\circ C$.

Efecto del bicarbonato

Varios de los factores señalados anteriormente están relacionados con la generación de bicarbonatos. Muchos investigadores concuerdan que este compuesto es una de las causas principales en la inducción de la clorosis, sobre todo en las dicotiledóneas (Loeppert, 1986; Mengel y Geurtzen, 1986; Kolesch et al., 1987a; Wallace y Cha, 1986). Ciertamente la baja disponibilidad del hierro en el suelo es otra causa, pero no puede considerarse la única, ya que se han encontrado plantas, que manifiestan la clorosis férrica, pero con mayor concentración de hierro en sus tejidos que aquellas plantas verdes, como lo señalan Chen y Barak

(1982), Mengel y Geurtzen (1986) y Zaharieva (1986). Asimismo, se pueden observar en los manchones cloróticos, plantas de maleza sin clorosis.

Sin embargo, bajo condiciones de campo, pocos investigadores han encontrado una buena correlación entre el contenido de bicarbonatos y la incidencia de clorosis. Entre ellos tenemos a Place et al. (1969), Boxma (1972), Inskeep y Bloom (1984). Bloom e Inskeep (1986) encontraron que la clorosis de la soya, bajo condiciones de campo, estaba relacionada con el contenido de bicarbonatos en base a volumen de suelo (Cuadro 3). En condiciones controladas, sobre todo en solución nutritiva, esto es más evidente. La dinámica del hierro en la rizósfera es determinante para la nutrición de las plantas. Las determinaciones de bicarbonato, considerando todo el suelo, no reflejan necesariamente lo que está sucediendo en la rizósfera.

Los bicarbonatos inducen clorosis férrica principalmente por dos razones: (a) al influenciar negativamente los mecanismos de respuesta de los cultivos, cuando se enfrentan a un stress por deficiencia de hierro, sobre todo en las dicotiledóneas (Fleming et al., 1984; Marschner et al., 1986), y (b) por dañar la translocación y el metabolismo del hierro en la planta (Fleming et al., 1984; Mengel y Geurtzen, 1986; Kolesch et al., 1987b). Estos son los argumentos principales que sustentan la idea que la clorosis férrica resulta más de un desorden fisiológico, que de una baja disponibilidad de hierro.

Kolesch et al. (1987b) mencionan que el hierro tiene que ser reducido dos veces, una al entrar en la planta, y otra al intervenir en el metabolismo (Figura 1). Chaney et al. (1972) demostraron que la primera reducción es un prerrequisito para atravesar la membrana, aunque esto no se aplica necesariamente para las gramíneas como lo señalan Marschner et al. (1986). La capacidad reductora de la raíz, tanto a nivel membrana de las células de la corteza como de las sustancias reductoras que libera, puede ser neutralizada por la presencia del bicarbonato.

El segundo proceso de reducción, localizado en las hojas, es dependiente de la luz (Kolesch et al., 1987b). Este paso puede ser dañado por una alta concentración de OH^- en el citoplasma. Ciertamente existen mecanismos de regulación del pH, como los mostrados en la Figura 2. Sin embargo, cantidades altas de bicarbonato absorbido del suelo, no son neutralizadas tan eficientemente y conducen finalmente a una alcalinización del citoplasma (Kolesch et al., 1987b).

Por su parte, Mengel y Geurtzen (1986) señalan que el paso crítico, en la distribución del hierro en las hojas, es el transporte desde las nervaduras y apoplasto hasta el interior de las células. Consecuentemente, estos autores deducen que un pH elevado en las nervaduras y apoplasto, debido a la absorción del HCO_3^- (también el NO_3^- puede contribuir), inhibe ese transporte y conduce a una precipitación del hierro en ese espacio.

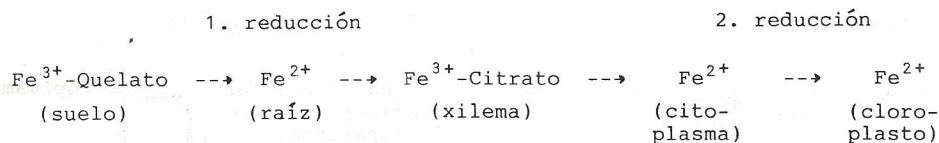


Figura 1. Absorción y transporte del hierro (Kolesch et al., 1987b).

Condición genética del cultivo

Existen cultivos que, bajo condiciones de baja disponibilidad del hierro (stress por hierro), desarrollan mecanismos específicos de respuesta, con la finalidad de lograr un mayor abastecimiento de ese elemento. A estos cultivos se les ha denominado Fe-eficientes, mientras que aquellos cultivos que no presentan esos mecanismos se les llama Fe-ineficientes. Sin embargo, se ha observado que varios cultivos Fe-eficientes pueden desarrollar clorosis bajo condiciones de campo, como lo señalan Longnecker y Welch (1986) y Marschner (1986). En este sentido, Longnecker y Welch (1986) proponen utilizar sólo el término de cultivos resistentes a la clorosis férrica, para aquellos cultivos y/o ecotipos que producen o compiten en un suelo en el cual la disponibilidad del hierro es limitada.

Con la finalidad de un mejor entendimiento entre los científicos, Marschner (1986) propone utilizar la denominación de Fe-eficiencia sólo como un término fisiológico. Este deberá usarse sólo para la caracterización de las diferencias genotípicas, entre los mecanismos de respuesta al stress por hierro, dentro de una especie dada pero no entre especies. Asimismo, la denominación resistente a la clorosis se propone como un término ecológico, y, denotará el buen desarrollo de genotipo Fe-eficiente que se encuentra creciendo en suelos con condiciones poco favorables para la nutrición férrica, como los suelos con carbonato de calcio.

Los mecanismos de respuesta al stress de hierro, consisten en una serie de cambios bioquímicos, fisiológicos y anatómicos, que se dan en los genotipos Fe-eficientes. Entre los cambios anatómicos se observa un reducido crecimiento terminal de las raíces primarias y el desarrollo de más raíces laterales; asimismo se encuentra formación de células "transfer" en la epidermis de la parte terminal de las raíces (Landsberg, 1982; Camp et al., 1987). Los cambios bioquímicos y fisiológicos se pueden observar en el esquema (Figura 3) propuesto por Marschner et al. (1986). No todos los mecanismos ahí anotados se presentan simultáneamente en los genotipos Fe-eficientes.

De acuerdo con Marschner et al. (1986), la estrategia I se encuentra generalmente en las dicotiledóneas y en algunas monocotiledóneas (con excepción de las gramíneas). Esta estrategia se caracteriza fundamentalmente por un incremento en la actividad de la reductasa, localizada en las membranas de las células de las raíces activas, lo cual conduce a una mejor absorción del hierro, como lo anotan Kolesch et al. (1987b). Asimismo, es común encontrar la acidificación de la rizósfera, es decir la secreción de protones, lo cual está íntimamente relacionado con la formación de las células "transfer" (Landsberg, 1982). Esta acidificación mejora el abastecimiento y absorción del hierro, ya que facilita la solubilización de los precipitados de hierro (Lindsay y Schwab, 1982), y mejora la actividad de la reductasa (Kolesch et al., 1987b).

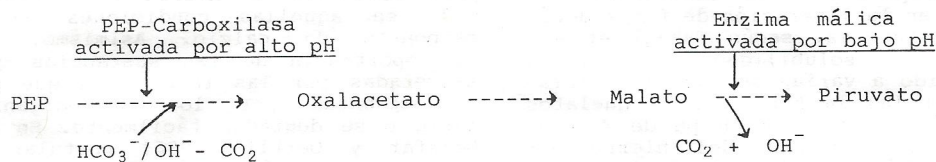


Figura 2. Regulación bioquímica del pH intracelular (Kolesch et al., 1987b).

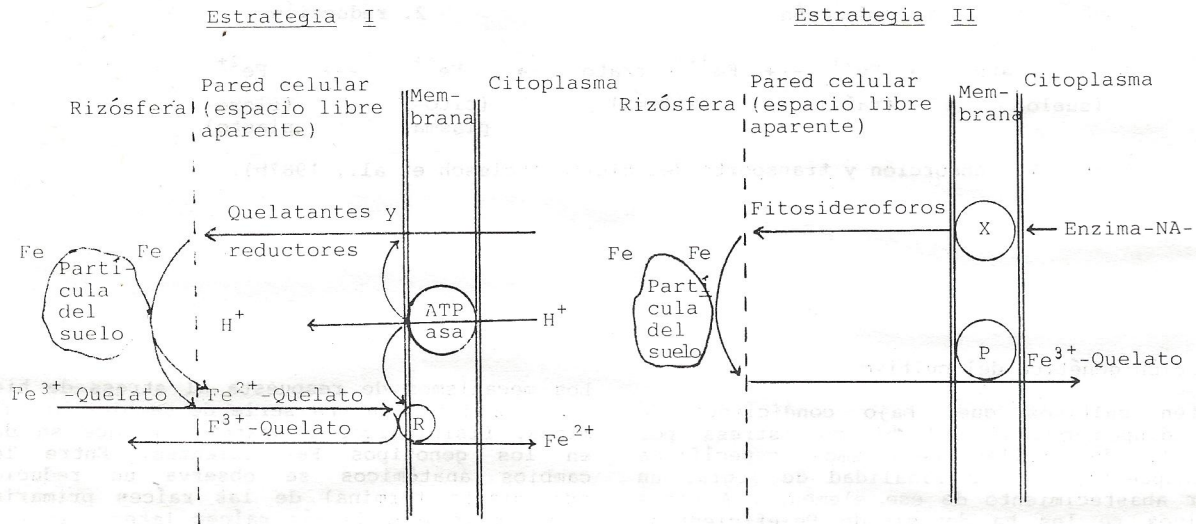


Figura 3. Dos estrategias encontradas en las plantas superiores para mejorar el abastecimiento y absorción del hierro. Estrategia I se encuentra en las dicotiledóneas y monocotiledóneas (no gramíneas). R = reductasa inducible. Estrategia II encontrada en las gramíneas (cebada, avena, maíz, sorgo, arroz, etc.). NA-Nicotiamina, X = extrusión, P = sistema de absorción específico (Marschner et al., 1986).

En ciertas especies de plantas, durante la acidificación, puede ocurrir un incremento en la velocidad de liberación de sustancias reductantes y quelatantes (ácido caféico, ácido clorogénico, glucosa, galactosa, riboflavina, ácido cítrico, etc.), como lo señalan Olsen et al. (1982) y Hether et al. (1984). Estas sustancias incrementan la velocidad de abastecimiento del hierro a la raíz, al contribuir a una mayor solubilización de los precipitados de hierro y servir como vehículo del hierro hasta la raíz.

La estrategia I ha sido confirmada por Camp et al. (1987), al comparar los mecanismos de respuesta del jitomate y de la soya al stress por hierro. Ambas especies presentan un incremento en la capacidad reductora de la raíz, así como una liberación de H^+ y de sustancias reductantes. Estos autores señalan que todos estos mecanismos son importantes para hacer más disponible el hierro y cada uno de ellos contribuye a mejorar la absorción de ese nutrimento por las raíces.

En relación a la estrategia II, Marschner et al. (1986) mencionan que ésta ha sido encontrada sólo en las gramíneas (cebada, avena, maíz, sorgo, arroz, etc.). En este caso, el mecanismo de respuesta a la deficiencia de hierro consiste en la liberación de fitosideroforos. Estas sustancias, según Takagi et al. (1984) mejoran la solubilidad y nutrición con hierro, debido a varias de sus características, como son: (a) la formación de quelatos con el Fe; (b) son estables en pH de 4 a 9; (c) estimulan la absorción del hierro por las gramíneas (aún en las Fe-ineficientes como el arroz), donde otros quelatos no lo hacen, y (d) son absorbidos totalmente por

las raíces de las gramíneas bajo un sistema altamente específico. Un ejemplo de esas sustancias es el ácido muginéico (Takagi et al., 1984) y el dibutil fitalato (Brown y Jolley, 1986).

Debido a que la estrategia II es bien diferente a la estrategia I, anteriormente se había clasificado a las gramíneas como Fe-ineficientes. La capacidad de liberación de fitosideroforos, varía de mayor a menor según el siguiente orden: cebada, avena, maíz, sorgo y arroz (Marschner et al., 1986).

De acuerdo con Marschner et al. (1986), una evaluación ecológica de ambas estrategias revela lo siguiente: la estrategia II responde mejor a las fuentes inorgánicas de hierro y es afectado relativamente poco por el pH del sistema, en tanto que la estrategia I responde mejor a los quelatos-Fe y su dinámica es severamente dañada por un suelo de pH alcalino con gran poder de amortiguamiento.

Uren (1984) y Mozafar y Oertli (1986) ponen en duda la efectividad de los mecanismos de respuesta (principalmente la estrategia I) para abastecer de hierro a la planta, sobre todo en aquellas condiciones edáficas con carbonato de calcio. Asimismo, cuestionan la importancia de las sustancias quelatantes secretadas por las raíces, ya que pueden ser descompuestas por los microorganismos del suelo o se degradan fácilmente. En todo caso, Mozafar y Oertli (1986) postulan que esos mecanismos podrían ser efectivos en espacios (en la interfase raíz-suelo) protegidos del medio.

En ese sentido, Mozafar y Oertli (1986) muestran evidencia convincente del mecanismo de reducción por contacto (término acuñado por Uren), de la raíz con los sólidos del suelo (precipitados de hierro). Este tiene lugar en microconcavidades ubicadas entre la raíz y el sólido, que están protegidas del medio por "mucigel". Ellos postulan que el HCO_3^- o las condiciones de bajo abastecimiento de O_2 , pueden dañar tanto la secreción de mucigel o impedir el sellado de la microconcavidad.

En base a lo anterior, el área específica de los precipitados de hierro y el área superficial de la raíz, adquieren mayor importancia (Uren, 1984). Brown y Jolley (1984) opinan que no hay razón para no aceptar la existencia de ambos procesos (estrategia I y reducción por contacto).

Por otro lado, Longnecker y Welch (1986) mencionan que una planta Fe-eficiente puede tener mayores posibilidades de mostrar resistencia a la clorosis, si tiene lo siguiente: (a) bajo requerimiento metabólico del hierro; (b) un almacén extracelular de hierro utilizable en varias regiones del apoplasto de las células de la planta; (c) un almacén intracelular de hierro disponible metabólicamente (como la ferritina) en la raíz o en el tallo, y (d) un proceso de translocación más eficiente, tanto del hierro absorbido por la raíz como del hierro de los tejidos en senescencia. Por su parte, Kolesch et al. (1987b) mencionan además, que un mejor control genético del pH del citoplasma puede ayudar a aumentar la resistencia de los genotipos a la clorosis férrica.

ALTERNATIVAS

Las alternativas posibles, para la corrección de la clorosis férrica, pueden ser divididas en tres grandes rubros: (a) selección de genotipos resistentes a la clorosis férrica; (b) fertilización a la planta, y (c) manejo del suelo. Varios autores (Mortvedt, 1986; Williams et al., 1986) señalan que la selección de genotipos resistentes resulta más prometedor, ya que en este caso sería una solución permanente. Williams et al. (1986) encontraron que las características de resistencia de un genotipo pueden ser heredables.

Selección de genotipos resistentes

La selección de genotipos resistentes bajo condiciones de campo, es una práctica deseable pero requiere de gran cantidad de tiempo y consecuentemente dinero. Es posible practicar procedimientos de selección previa bajo condiciones controladas, antes de proceder a las pruebas de campo.

Brown (1976) recomienda un método rápido de selección consistente en hacer crecer las plantas en una solución nutritiva (Steinberg modificada), en donde el N se abastece en forma de NO_3^- y de NH_4^+ y el Fe en forma de quelatos. Posteriormente (14 días para el maíz y soya, 21 días para el jitomate), las plantas son transferidas a otra solución nutritiva

(Hoogland y Arnon No. 1 modificada), donde la totalidad del N está en forma de NO_3^- y el Fe se encuentra con una concentración 15 veces menor como Fe-EDTA. Después de seis días las plantas Fe-eficientes estarán verdes, mientras que las Fe-ineficientes desarrollarán diversos grados de clorosis.

Cuando se requiere realizar una separación más precisa, Brown (1976) recomienda trabajar con el CaCO_3 . Menciona que con 100 mg de CaCO_3 /L de solución, sólo las plantas más eficientes no desarrollarán clorosis.

Inskeep y Bloom (1986) recomiendan el uso de potenciales hídricas elevadas, entre capacidad de campo y punto de saturación (por ejemplo -0.1 bar), para la selección de genotipos de soya resistentes a la clorosis. Lo anterior está basado, como se señaló anteriormente, en el hecho de que altos contenidos de humedad en el suelo promovían una mayor concentración de bicarbonatos (Cuadro 3). Asimismo, Coulombe et al. (1984) recomiendan el uso del HCO_3^- en el proceso de selección para la soya.

En el caso de las gramíneas, para la selección de genotipos resistentes a la clorosis, el uso de quelatos sintéticos no es muy apropiado; asimismo el utilizar un medio con un pH elevado o una concentración de HCO_3^- alta, no es lo más indicado (Marschner et al., 1986). Lo anterior se debe a las características descritas para la estrategia II.

Actualmente, en la literatura internacional se mencionan genotipos de soya Fe-eficientes, como la Swift, A7, Clark, Hawkeye (Fleming et al., 1984; Inskeep y Bloom, 1984; Camp et al., 1987). Para el caso del jitomate se menciona como Fe-eficiente al T3238FER (Camp et al., 1987). Para el caso del sorgo se ha encontrado el SC 500-6, CAPROCK, NAHUATL, REDBINE/60 (García, 1979).

Fertilización a la planta

En México, esta tecnología es la más prometedora para manejar la clorosis férrica. Se puede practicar por dos vías: (a) fertilización foliar, y (b) fertilización al tronco. La primera puede ser una práctica general, tanto para cultivos anuales como para frutales, mientras que la segunda queda restringida para los árboles frutales.

La fertilización foliar es posible, porque las hojas presentan estructuras que permiten la penetración y absorción de los nutrimentos. Se considera penetración al paso de los nutrimentos hasta las paredes celulares o espacio libre aparente en el interior de las hojas; absorción será el paso de los nutrimentos a través de las membranas celulares. El uso libre de estos términos en la literatura crea confusiones en relación a la importancia de las estructuras de las hojas.

Así, mientras Chen y Barak (1982) y Mortvedt (1986), al referirse a otros trabajos, señalan que los estomas representan la mayor zona de absorción de hierro; por su parte, Franke

(1967) establece que son los ectodesmos las estructuras que más contribuyen en la penetración de nutrimentos.

Mortvedt (1986) menciona una gran variedad de compuestos que pueden ser utilizados como fuente de hierro, tales como: el sulfato ferroso (FeSO_4); quelatos sintéticos como el Fe-EDTA (etilen-diamin-tetracético) y el Fe-EDDHA (etilen-diamin-dihidroxifenilacetato); y los quelatos naturales como los lignosulfonatos. Las aplicaciones de quelatos son efectivos para la absorción y translocación de hierro en la planta, pero su uso requiere de una evaluación económica para cada caso particular.

Para el caso de México, el uso del FeSO_4 ha sido recomendado (Rodríguez, 1986; García, 1986), ya que además de ser efectivo es relativamente barato. Rodríguez (1986) ha encontrado que las aplicaciones de ese compuesto al follaje de sorgo con problemas de clorosis, pueden incrementar la producción de grano hasta por más de 4 ton/ha. Para lograr una buena efectividad deben cuidarse varios aspectos, tanto en la preparación de la solución como en la aplicación de la misma.

En relación a la preparación de la solución se deben tener presente los siguientes aspectos: (a) trabajar con una concentración del 1-3% de sulfato ferroso, para evitar el "quemado" de la planta; (b) adicionar sustancias surfactantes y adherentes, y (c) tratar que las soluciones sean preparadas momentos antes de su aplicación. La adición de la urea ha mostrado que mejora la penetración, la absorción y la posible translocación de otros nutrimentos como el hierro (Hsu y Ashmead, 1984 y Mortvedt, 1986). Esta práctica puede ser muy prometedora, ya que además ayuda a disminuir significativamente la fertilización nitrogenada al suelo.

Para la aplicación de la solución es conveniente tener presente lo siguiente: (a) asperjarla lo más fina posible cuando existe una alta humedad relativa (preferentemente por las mañanas); (b) asperjarla cuando los cultivos muestren los primeros síntomas de clorosis, tratando de bañar completamente la planta; y (c) realizar las aplicaciones necesarias para solucionar la clorosis (Hsu et al., 1982).

Por otro lado, Wallace y Wallace (1986) han demostrado que la fertilización al tronco de los árboles frutales es altamente efectiva. La práctica recomendada es la siguiente:

- (a) Utilizar el citrato de amonio-hierro (8% Fe) como fuente de hierro, tanto por su alta solubilidad como por llevar el anión citrato (considerado como el vehículo del Fe en la planta).
- (b) Practicar una o varias perforaciones en el tronco del árbol con las siguientes características: (1) 5 cm de profundidad aproximadamente (hasta llegar al xilema); (2) 0.6 cm de diámetro; (3) con una ligera pendiente de 45 grados, y (4) a una altura de 10 hasta 60 cm del suelo (dependiendo si el árbol es pequeño o grande).
- (c) Adicionar desde 1.5 a 22 ml de solución, dependiendo si el árbol es pequeño o grande, respectivamente.

- (d) Dejar que la solución adicionada sea absorbida por el árbol. El reverdecimiento se notará aproximadamente en una semana.
- (e) Esterilizar con flama o alcohol las perforaciones realizadas. Esto es con el fin de evitar enfermedades por bacterias o virus.

Por su parte, Raese et al. (1986), encontraron que la fertilización al tronco con sulfato ferroso, controló más eficientemente la clorosis férrica y por más tiempo (3 ó 4 años) en manzano y pera. En este caso, la fertilización foliar con Fe-lignosulfonatos fue de una efectividad intermedia, mientras que la fertilización al suelo fue de limitada efectividad y variable.

Manejo del suelo

El manejo del suelo para aumentar la disponibilidad del hierro en suelos alcalinos, incluye lo siguiente: (a) aplicación de fertilizantes (orgánicos e inorgánicos); (b) acidificación del suelo; y (c) práctica de inundación.

Para el caso de la fertilización al suelo, se ha demostrado que las aplicaciones de sulfato ferroso son poco efectivas (Mortvedt, 1986), ya que inmediatamente que llega el Fe^{2+} al suelo, éste participa en las reacciones (1), (2), (3) y (4). Loeppert (1986) menciona la posibilidad de utilizar compuestos de Fe^{3+} como una alternativa a largo plazo, sobre todo para las gramíneas (Wallace et al., 1976e; Anderson, 1982). Dentro de los quelatos, el Fe-EDDHA es el que ha mostrado mayor efectividad, pero es necesaria su evaluación económica (Chen y Barak, 1982).

Los abonos orgánicos pueden ser efectivos en solucionar la clorosis férrica (Chen y Barak, 1982), siempre y cuando actúen como fuente de hierro y no predomine el efecto de contribuir a aumentar el nivel de HCO_3^- en la solución del suelo. Esto último podría suceder en los suelos acillosos con excesos de humedad.

Un aspecto interesante es la mezcla de abono orgánico y el sulfato ferroso. Chen y Barak (1982) citan trabajos donde esta mezcla actúa de manera sinérgica. Por ejemplo, Mann et al. (1978), citados por Chen y Barak (1982), investigaron la interacción entre la adición de 0 y 250 ppm Fe (como FeSO_4) con 0 y 10 ton de abono orgánico sobre el rendimiento del maíz. Los citados autores concluyeron que el tratamiento Fe-abono orgánico produjo un incremento en el rendimiento mayor que la suma del incremento producido por el Fe y el abono orgánico por separado.

La acidificación del suelo o neutralización de los carbonatos, es otra práctica que podría utilizarse. En este caso se ha empleado el ácido sulfúrico (H_2SO_4) y el azufre (S). Wallace et al. (1976f) y Mortvedt (1986) mencionan que la acidificación parcial del suelo (ej. banda) puede dar resultados económicamente aceptables, sobre todo cuando se utiliza el azufre elemental (S).

Es conveniente reconsiderar el uso del S como plaguicida y fungicida (Téliz, 1981), en los cultivos que se desarrollan en suelos alcalinos, ya que en este caso cumpliría un doble propósito. Asimismo, es conveniente evaluar la efectividad del ácido fosfórico como fertilizante bajo esas condiciones.

Un aspecto casual es la práctica de la inundación del arroz que se cultiva en suelos con

carbonato de calcio. Longoria et al. (1975), al trabajar con suelos que contienen carbonatos de calcio de una zona arrocerá, encontraron que bajo condiciones de inundación se produce una caída en el potencial redox y un aumento en el hierro aprovechable, dando como consecuencia un buen desarrollo del arroz. Sin embargo, es una práctica que no puede ser recomendada ampliamente para todos los cultivos.

LITERATURA CITADA

- Anderson, W. B. 1982. Diagnosis and correction of iron deficiency in field crops - an overview. *J. Plant Nutr.* 5: 785-795.
- Bloom, P. R., y W. P. Inskeep. 1986. Factors affecting bicarbonate chemistry and iron chlorosis in soils. *J. Plant Nutr.* 9:215-228.
- Boxma, R. 1972. Bicarbonate as the important soil factor in lime-induced chlorosis in The Netherlands. *Plant and Soil* 37: 233-243.
- Brown, J. C. 1976. Screening plants for iron efficiency. In: Wright, M. J. (ed). *Plant Adaptation To Mineral Stress in Problem Soils*. Cornell Univ. Agric. Exp. Stn. Mem. 355-357.
- Brown, J. C. y V. D. Jolley. 1986. An evaluation of concepts related to iron deficiency chlorosis. *J. Plant Nutr.* 9: 175-186.
- Camp, S. D., V. D. Jolley y J. C. Brown. 1987. Comparative evaluation of factors involved in Fe stress response in tomato and soybean. *J. Plant Nutr.* 10: 423-442.
- Chaney, R. L., J. C. Brown y L. O. Tiffin. 1972. Obligator y reduction of ferric chelates in iron uptake by soybeans. *Plant Physiol.* 50: 208-213.
- Chaney, R. L. 1984. Diagnostic practices to identify iron deficiency in higher plants. *J. Plant Nutr.* 7: 47-67.
- Chen, Y. y P. Barak. 1982. Iron nutrition of plants in calcareous soils. *Agron.* 35: 217-240.
- Coulombe, B. A., R. L. Chaney y W. J. Wiebold. 1984. Use of bicarbonate in screening soybeans for resistance to iron chlorosis. *J. Plant Nutr.* 7: 411-425.
- Fleming, A. L., R. L. Chaney y B. A. Coulombe. 1984. Bicarbonate inhibits Fe-stress response and Fe uptake-translocation of chlorosis-susceptible soybean cultivars. *J. Plant Nutr.* 7: 699-714.
- Franke, W. 1967. Mechanisms of foliar penetration of solution. *Ann. Rev. Plant Physiol.* 18: 281-300.
- García, J. L. C. (ed). 1986. *Manual de Fertilización Regional*. SARH-PIFSV-Fertimex-INIA. Reynosa, Tamps.
- García, M. 1979. Evaluación de la tolerancia y susceptibilidad a la clorosis de sorgo (*Sorghum bicolor*) y algunos mecanismos de adaptación. Tesis de Maestría en Ciencias. Colegio de Postgraduados, Chapingo, Méx.
- Hemming, B. C. 1986. Microbial-iron interactions in the plant rhizosphere. An overview. *J. Plant Nutr.* 9: 505-521.
- Hether, N. H., R. A. Olsen y L. L. Jackson. 1984. Chemical identification of iron reductants exuded by plant roots. *J. Plant Nutr.* 7: 667-676.
- Hsu, H. H., H. D. Ashmead y D. J. Graff. 1982. Absorption and distribution of foliar applied iron by plants. *J. Plant Nutr.* 5: 969-974.
- Hsu, H. H. y H. D. Ashmead. 1984. Effect of urea and ammonium nitrate on the uptake of iron through leaves. *J. Plant Nutr.* 7: 291-299.
- Inskeep, W. P. y P. R. Bloom. 1984. A comparative study of soil solution chemistry associated with chlorotic and nonchlorotic soybeans in W. Minnesota. *J. Plant Nutr.* 7: 513-531.
- Inskeep, W. P. y P. R. Bloom. 1986. Effects of soil moisture on soil pCO_2 , soil solution bicarbonate, and iron chlorosis in soybeans. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 50: 946-952.
- Kolesch, H., W. Hofner y K. Schaller. 1987a. Effects of bicarbonate and phosphate on iron-chlorosis of grapevines with special regard to the susceptibility of the rootstocks. I. Field experiments. *J. Plant Nutr.* 10: 207-230.
- Kolesch, H., W. Hofner y K. Schaller. 1987b. Effects of bicarbonate and phosphate on iron chlorosis of grapevines with special regard to the susceptibility of two rootstocks. II. Pot experiments. *J. Plant Nutr.* 10: 231-249.
- Landsberg, E. Ch. 1982. Transfer cell formation in the root epidermis: a prerequisite for Fe-efficiency. *J. Plant Nutr.* 5: 415-432.
- Lindsay, W. L. y A. P. Schwab. 1982. The chemistry of iron in soils and its availability to plants. *J. Plant Nutr.* 5: 821-840.

- Lindsay, W. L. 1984. Soil and plant relationships associated with iron deficiency with emphasis on nutrient interactions. *J. Plant Nutr.* 7: 489-500.
- Loeppert, R. H. 1986. Reactions of iron and carbonates in calcareous soils. *J. Plant Nutr.* 9: 195-214.
- Loeppert, R. H. y C. T. Hallmark. 1985. Indigenous soil properties influencing the availability of iron in calcareous soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 49: 597-603.
- Loeppert, R. H., L. R. Hossner y M. A. Chmielewski. 1984. Indigenous soil properties influencing the availability of Fe in calcareous hot spots. *J. Plant Nutr.* 7: 135-147.
- Longnecker, N. y R. Welch. 1986. The relationships among iron-stress response, iron efficiency and iron uptake of plants. *J. Plant Nutr.* 9: 715-727.
- Longoria G., G. A., S. Alcalde B. y R. García L. 1975. Prevención de la clorosis férrica en suelos calcáreos mediante la liberación de Fe^{2+} por tratamientos de preinundación. *Agrociencia* 19: 145-158.
- Marschner, H. 1986. Areas where future research on uptake and translocation of iron should be focussed. *J. Plant Nutr.* 9: 1071-1076.
- Marschner, H., V. Romheld y M. Kissel. 1986. Different strategies in higher plants in mobilization and uptake of iron. *J. Plant Nutr.* 9: 695-713.
- Mengel, K., M. Th. Breininger y W. Bubl. 1984. Bicarbonate, the most important factor inducing iron chlorosis in vine grapes on calcareous soil. *Plant and Soil* 81: 333-344.
- Mengel, K. y G. Geurtzen. 1986. Iron chlorosis on calcareous soils. Alkaline nutritional condition as the cause for the chlorosis. *J. Plant Nutr.* 9: 161-173.
- Miller, G. W., J. C. Pushnik y G. W. Welkie. 1984. Iron chlorosis, a world wide problem, the relation of chlorophyll biosynthesis to iron. *J. Plant Nutr.* 7: 1-22.
- Mortvedt, J. J. 1986. Iron sources and management practices for correcting iron chlorosis problems. *J. Plant Nutr.* 9: 961-974.
- Mozafar, A. y J. J. Oertli. 1986. A critical evaluation of iron mobilization mechanisms with special reference to the contact effect phenomenon. *J. Plant Nutr.* 9: 759-780.
- Olsen, R. A., J. C. Brown, J. H. Bennet y D. Blume. 1982. Reduction of Fe^{3+} as it relates to Fe chlorosis. *J. Plant Nutr.* 5: 433-445.
- Ortiz S., C. 1985. Los suelos agrícolas de México; de acuerdo al sistema FAO-UNESCO. In: Ruiz F., F., B. Ortiz V. y C. Ortiz S. (eds). I. Reunión Sobre el Manejo de Suelos Arcillosos y su Implicación en la Agricultura. SARH-CP-UACH. 10-17.
- Patel, P. M., A. Wallace y R. B. Clark. 1976. Phosphorous levels on the ability of an iron-inefficient and an iron-efficient corn inbred to take up iron from nutrient solution. *Soil Sci. Plant Anal.* 7: 105-106.
- Patrick, W. H. y D. S. Mikkelsen. 1971. Plant nutrient behavior in flooded soil. In: Olsen, R. A., T. J. Army, J. J. Hanway y V. J. Kilmer (eds). *Fertilizer Technology & Use*. SSSA. Madison, Wisconsin. 187-215.
- Place, G. A., J. E. Dunn y G. W. Hardy. 1969. Statistical technique for predicting chlorosis of rice growing in calcareous soil. *Soil Sci.* 107: 31-38.
- Ponnamperuma, F. N. 1972. The chemistry of submerged soils. *Agron.* 24: 29-96.
- Raese, J. T., C. L. Parish y D. C. Staiff. 1986. Nutrition of apple and pear trees with foliar sprays, trunk injections or soil applications of iron compounds. *J. Plant Nutr.* 9: 987-999.
- Rodríguez G., H. 1986. Tecnología para el control de la clorosis férrica del sorgo, una tecnología rentable que no ha sido aprovechada en México. CIAB-INIA-SARH.
- Spiller, S. y N. Terry. 1980. Limiting factors in photosynthesis. *Plant Physiol.* 65: 121-125.
- Sumner, M. E. y M. P. W. Farina. 1986. Phosphorus interactions with other nutrients and lime in field cropping systems. *Soil Sci.* 5: 201-236.
- Takagi, S., K. Nomoto y T. Takemoto. 1984. Physiological aspect of mugineic acid, a possible phytosiderophore of graminaceous plants. *J. Plant Nutr.* 7: 469-477.
- Téliz O., M. 1981. Usos del azufre como plaguicida agrícola. In: Primer Simposio sobre el "Uso del Azufre para el Desarrollo y Modernización de la Agricultura en América Latina". México, D. F.
- Thorne, D. W., F. B. Wann y W. Robinson. 1951. Hypotheses concerning lime-induced chlorosis. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 15: 254-258.
- Uvalle-Bueno, J. X., M. I. A. García y L. M. Rubio S. 1985. Identificación de factores del suelo que causan la clorosis en soya. In: Ruiz F., F., B. Ortiz V. y C. Ortiz S. (eds). I. Reunión Nacional Sobre el Manejo de Suelos Arcillosos y su Implicación en la Agricultura. SARH-CP-UACH. 262-271.
- Uren, N. C. 1984. Forms, reactions and availability of iron in soils. *J. Plant Nutr.* 7: 165-176.
- Vempati, R. K. y R. H. Loeppert. 1986. Synthetic Ferrihydrite as a potential Fe amendment in calcareous soils. *J. Plant Nutr.* 9: 1039-1052.
- Vose, P. B. 1982. Iron nutrition in plants: a world overview. *J. Plant Nutr.* 5: 233-249.
- Walker, J. M., R. L. Chaney y J. B. Munns. 1971. How root-zone temperature induced Fe chlorosis in the soybeans cultivar Bioloxi. *Agron. Abstr.* 96.
- Wallace, A. 1986. Definition of stress in crop production-iron plant nutrient, and non-nutrient stress interaction. *J. Plant Nutr.* 9: 187-192.

- Wallace, A., S. M. Sourfi, J. W. Cha y E. M. Romney. 1976a. Iron-phosphorus interactions in bush beans. *Soil Sci. Plant Anal.* 7: 101-104.
- Wallace, A., E. M. Romney y P. M. Patel. 1976b. Zinc induced iron deficiency in soybeans. *Soil Sci. Plant Anal.* 7: 37-41.
- Wallace, A., R. T. Mueller y G. V. Alexander. 1976c. High level of four heavy metals on the iron status of plants. *Soil Sci. Plant Anal.* 7: 43-46.
- Wallace, A., P. M. Patel, E. M. Romney y G. V. Alexander. 1976d. Iron chlorosis caused by $MgCO_3$. *Soil Sci. Plant Anal.* 7: 27-35.
- Wallace, A., P. M. Patel, R. T. Mueller y J. W. Cha. 1976e. Monocot-Dicot variability in response to an iron oxide-metallic iron source. *Soil Sci. Plant Anal.* 7: 77-88.
- Wallace, A., E. M. Romney y G. V. Alexander. 1976f. Banding of sulfur and sulfuric acid in soil which iron-inefficient plants were grown. *Soil Sci. Plant Anal.* 7: 7-13.
- Wallace, A. y J. W. Cha. 1986. Effects of bicarbonate, phosphorus, iron EDDHA, and nitrogen source on soybean grown in calcareous soil. *J. Plant Nutr.* 9: 251-256.
- Wallace, A. y D. R. Lunt. 1960. Iron chlorosis in horticultural plants, a review. *Am. Soc. Hort. Sci.* 75: 819-841.
- Wallace, G. A. y A. Wallace. 1986. Correction of iron deficiency in trees by injection with ferric ammonium citrate solution. *J. Plant Nutr.* 9: 981-986.
- Watanabe, F. S., W. L. Lindsay y S. R. Olsen. 1965. Nutrient balance involving phosphorus, iron, and zinc. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 29: 562-565.
- Williams, E. P., W. M. Ross, R. B. Clark, G. M. Herron y M. D. Witt. 1986. Iron-deficiency chlorosis: Its Heritability and effects on agronomic traits in a sorghum population. *J. Plant Nutr.* 9: 423-433.
- Zaharieva, T. 1986. Comparative studies of iron inefficient plant species with plant analysis. *J. Plant Nutr.* 9: 939-946.
- Zaiter, H. Z., D. P. Coyne, R. B. Clark y D. S. Nuland. 1986. Genetic variation in field and nutrient solutions and the effect of temperature for leaf chlorosis in dry beans (*Phaseolus vulgaris* L.). *J. Plant Nutr.* 9: 440-441.

INDICE DE AUTORES

- Acosta H., R. 16
- Becerra M., A. 55, 62, 173
 Becerril T., H. R. 109
 Bravo L., A. G. 132
- Castañeda P., A. 90
 Contreras C., M. 109
 Cortés F., J. I. 113
 Cruz H., L. 10
 Cruz Z., V. M. 79
- Díaz E., L. F. 144
- Etchevers B., J. D. 3, 10, 79, 103, 113
- Fernández G., R. 180
 Fuentes R., C. 16
- García E., R. 113
 García M., F. 90
 Gavi R., F. 79
 Godoy A., C. 34, 38
 Gutiérrez R., N. 113
- Haverkamp, R. 25
 Hernández D., J. 125
 Hernández S., R. 16, 25
 Hidalgo M., C. 3, 10
- López M., I. 34, 38
- Llerena V., F. A. 173
- Martínez G., A. 153
 Martínez H., B. 3
- Nava M., B. 55
 Núñez E., R. 50, 79
- Obregón V., A. 125
 Orea L., J. 62
 Ornelas R., F. 96
 Ortega E., M. 137, 144
- Palacios V., O. L. 16, 41
- Ramírez A., C. 137, 144
 Rebolledo R., H.H. 96, 103
 Rendón M., P. 16
 Rendón P., L. 25
 Rivera O., P. 125
 Rodríguez C., O. 73
 Rodríguez N., F. 187
 Rojas H., P. 153
 Rone P., J. L. 144
- Sandoval, E. 90
 Serna P., A. 68
 Serrano P., R. 62
- Tarín V., M. 55
 Trejo S., M. 86
- Vázquez A., E. 137
 Vázquez A., V. 158
 Velásquez V., M. A. 68
 Velázquez L., A. 55, 62, 173
 Verástegui Ch., J. 132
 Volke H., V. 96, 103
- Zuñiga E., L. 119

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 entienden 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 existentes, 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 iberoamericanos, 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.

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 rever-

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.

so. 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 éste.

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:

NÚÑEZ 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.