



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

ISSN 0187-5779

TERRA

Volumen 8

Enero-Junio de 1990

Número 1

DIVISION II

INDICE

Absorción y asimilación del nitrato ($^{15}\text{NO}_3^-$) en plantas de soya inoculadas con dos cepas de *Bradyrhizobium japonicum*.

G. ALCANTAR GONZALEZ,
J.L. TIRADO TORRES y M.L. CHAMPIGNY

3

Un índice morfológico para maíz y su relación con el modelado del suelo.

JORGE H. RAMIREZ-SILVA y
OCTAVIO PEREZ-ZAMORA

11

Comparación entre el crecimiento de la raíz y el crecimiento de la parte aérea del cultivo de algodón en diferentes regimenes de humedad del suelo.

LEONARDO TIJERINA CHAVEZ

21

Efecto de plataformas elevadas (Planchés) en la producción de maíz de temporal en Vertisoles típicos y gleicos del estado de Quintana Roo, México.

JORGE H. RAMIREZ-SILVA y
OCTAVIO PEREZ-ZAMORA

36

DIVISION III

Evaluación agronómica de los efluentes de un digestor anaerobio.

ALEJANDRO GALVAN Q. y
JORGE D. ETCHEVERS B.

45

Caracterización de sitios experimentales con fines de generación de tecnología de producción de cosechas.

OCTAVIO PEREZ-ZAMORA

55

Limitantes de la producción de maíz de temporal en La Fraylesca, Chiapas: I. Transecto edafológico y características físicas y químicas del suelo.

OCTAVIO PEREZ-ZAMORA

68

EDITORIAL

1

ARTICULOS CIENTIFICOS

COMISION EDITORA

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

MESA DIRECTIVA 1988-1990

DR. ANDRES AGUILAR SANTELISES,
Presidente
DR. LUIS FERNANDO FLORES LUI,
Vicepresidente
M.C. MIGUEL ANGEL VERGARA SANCHEZ,
Secretario General
M.C. JOSEFINA PAREDES GONZALEZ,
Tesorero
DR. GABRIEL ALCANTAR GONZALEZ,
Secretario Técnico
DR. RAMON FERNANDEZ GONZALEZ,
Secretario de Relaciones Públicas
M.C. JORGE L. TOVAR SALINAS,
Secretario de Eventos Nacionales e Internacionales
DR. JAIME XAVIER UVALLE BUENO,
Vocal
M.C. OCTAVIO RODRIGUEZ CURIEL,
Vocal

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

Volumen 8-1, enero-junio 1990.

ISSN 0187-5779

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

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

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

Teléfono: (595) 4-22-00, ext. 5237.

División II: Relación Suelo-Clima-Biota

Absorción y asimilación del nitrato ($^{15}\text{NO}_3^-$) en
plantas de soya inoculadas con dos cepas de
Bradyrhizobium japonicum. G. ALCANTAR GON-
ZALEZ, J.L. TIRADO TORRES y M.L. CHAM-
PIGNY. 3

Un índice morfológico para maíz y su relación
con el modelado del suelo. JORGE H. RAMIREZ-
SILVA y OCTAVIO PEREZ-ZAMORA. 11

Comparación entre el crecimiento de la raíz y el
crecimiento de la parte aérea del cultivo de algodón
en diferentes regímenes de humedad del suelo.
LEONARDO TIJERINA CHAVEZ. 21

Efecto de plataformas elevadas (Planchés) en la
producción de maíz de temporal en Vertisoles típicos
y gleicos del estado de Quintana Roo, México. JORGE
H. RAMIREZ-SILVA y OCTAVIO PEREZ-
ZAMORA. 36

División III: Aprovechamiento del Recurso Suelo

Evaluación agronómica de los efluentes de un
digestor anaerobio. ALEJANDRO GALVAN Q. y
JORGE D. ETCHEVERS B. 45

Caracterización de sitios experimentales con
fines de generación de tecnología de producción de
cosechas. OCTAVIO PEREZ-ZAMORA. 55

Limitantes de la producción de maíz de temporal
en La Fraylesca, Chiapas: I. Transecto edafológico
y características físicas y químicas del suelo.
OCTAVIO PEREZ-ZAMORA. 68

Limitantes de la producción de maíz de temporal
en La Fraylesca, Chiapas: II. Factores químicos del
suelo que afectan el desarrollo y producción del
cultivo. OCTAVIO PEREZ-ZAMORA. 84

NOTA DE INVESTIGACION

Determinación de nitratos en extractos de suelo.
JUAN PULIDO SECUNDINO, JORGE D. ETCHE-
VERS BARRA y GLORIA GOIJBERG REIN. 97

ENSAYOS

La desertificación, sus causas y consecuencias:
medidas preventivas y correctivas para su control.
MANUEL ANAYA GARDUÑO. 102

Los nitratos provenientes de la agricultura: Una
fuente de contaminación de los acuíferos. JAVIER Z.
CASTELLANOS y JUAN JOSE PEÑA-
CABRIALES. 113

SOIL SCIENCE SOCIETY OF MEXICO

INDEX

SCIENTIFIC ARTICLES

EDITORIAL BOARD

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

BOARD OF DIRECTORS 1988-1990

DR. ANDRES AGUILAR SANTELISES,
 President
 DR. LUIS FERNANDO FLORES LUI,
 Vice-president
 M.C. MIGUEL ANGEL VERGARA SANCHEZ,
 Secretary-general
 M.C. JOSEFINA PAREDES GONZALEZ,
 Treasurer
 DR. GABRIEL ALCANTAR GONZALEZ,
 Technical Secretary
 DR. RAMON FERNANDEZ GONZALEZ,
 Secretary for Public Relations
 M.C. JORGE L. TOVAR SALINAS,
 Secretary for National and International Events
 DR. JAIME XAVIER UVALLE BUENO,
 Member
 M.C. OCTAVIO RODRIGUEZ CURIEL,
 Member

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

Volume 8-1, January-June 1990.

ISSN 0187-5779

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

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

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

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

Division II: Soil-Climate-Biota Relationship

Absorption and assimilation of nitrate ($^{15}\text{NO}_3^-$) en soybean plants inoculated with two strains of *Bradyrhizobium japonicum*. G. ALCANTAR GONZALEZ, J.L. TIRADO TORRES, and M.L. CHAMPIGNY 3

A morphological maize index and its relationship with soil surface drainage. JORGE H. RAMIREZ-SILVA and OCTAVIO PEREZ-ZAMORA 11

Comparison between root and shoot growth of cotton under different soil water regimes. LEONARDO TIJERINA CHAVEZ 21

Effect of raised beds on maize yield growing in Typic Vertisols and Gleyic Vertisols in Quintana Roo, Mexico. JORGE H. RAMIREZ-SILVA and OCTAVIO PEREZ-ZAMORA 36

Division III: Use of the Soil Resource

Agronomic evaluation of residues from an anaerobic biodigestor. ALEJANDRO GALVAN Q. and JORGE D. ETCHEVERS B. 45

Experimental soil sites characterization for transfer of technology in crop production. OCTAVIO PEREZ-ZAMORA 55

Maize yield constraints in La Fraylesca, Chiapas: I. Edaphological soil transect and soil physical and chemical characterization. OCTAVIO PEREZ-ZAMORA 68

Maize yield constraints in La Fraylesca, Chiapas: II. Soil chemical factors that affect crop yield. OCTAVIO PEREZ-ZAMORA 84

TECHNICAL NOTE

Measurement of nitrate in soil extracts. JUAN PULIDO SECUNDINO, JORGE D. ETCHEVERS BARRA, and GLORIA GOIJBERG REIN 97

ASSAYS

Desertification, its causes and consequences: Prevention and corrective measures. MANUEL ANAYA GARDUÑO 102

Nitrates from agriculture: A source of groundwater contamination. JAVIER CASTELLANOS and JUAN JOSE PEÑA CABRIALES. 113

EDITORIAL

Agosto de 1990; finalmente TERRA normaliza su fecha de aparición. Esperamos que de aquí en adelante, cada fin de semestre o antes, si los planes del editor se hacen realidad, la revista aparezca oportunamente. A manera de ensayo, para medir nuestra capacidad productiva, este año editaremos un número especial, que contiene los trabajos presentados en un Simposio en el Congreso Nacional en Zacatecas. De esta forma produciremos tres revistas por año. Nuestra meta es llegar a editar volúmenes anuales con cuatro números para 1994. Ese año la Sociedad Mexicana espera organizar el XV Congreso Internacional de la Ciencia del Suelo, para lo cual su presidente viajará, junto a una comitiva especial, a Japón, a realizar las gestiones pertinentes. La iniciativa anterior ha sido avalada por el señor Secretario de Agricultura y Recursos Hidráulicos, así como por ejecutivos de varias otras instituciones nacionales.

A través de este editorial queremos formular nuestros más sinceros agradecimientos a ORSTOM, Institución de Cooperación Internacional del Gobierno de Francia, por su desinteresada colaboración económica para la edición de esta revista. Especial mención merece el entusiasmo e interés que ha demostrado en nuestras actividades el Dr. Michel Portais, director de dicho organismo en México, quien en corto tiempo se ha hecho conocido y querido en el ámbito de la Ciencia del Suelo, por su incansable labor en pos de la cooperación internacional. ¡Gracias Michel!

Hasta diciembre

El Editor.

**SOCIEDAD MEXICANA DE LA CIENCIA DEL
SUELO A.C.**

DIVISIONES Y DISCIPLINAS

*División I: Diagnóstico, Metodología y Evaluación
del Recurso Suelo*

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

División II: Relación Suelo-Clima-Biota

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

División III: Aprovechamiento del Recurso Suelo

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

División IV: Educación y Asistencia Técnica

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

ABSORCION Y ASIMILACION DEL NITRATO ($^{15}\text{NO}_3^-$) EN PLANTAS DE SOYA
INOCULADAS CON DOS CEPAS DE *Bradyrhizobium japonicum*

Absorption and Assimilation of Nitrate ($^{15}\text{NO}_3^-$) in Soybean Plants
Inoculated with Two Strains of *Bradyrhizobium japonicum*

G. Alcántar González, J.L. Tirado Torres y M.L. Champigny

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

Universidad de Paris-Sur, Lab. de Fotosíntesis y Metabolismo,
91405 ORSAY-CEDEX, Francia.

Palabras clave: Fijación de nitrógeno,
Asimilación $^{15}\text{NO}_3^-$, Soya, *Rhizobium*.

Index words: Nitrogen fixation, Assimilation
 $^{15}\text{NO}_3^-$, Soybean, *Rhizobium*.

RESUMEN

Con el objeto de estudiar la absorción y la asimilación del $^{15}\text{NO}_3^-$ en los nódulos y otros órganos de plantas de soya inoculadas con *Bradyrhizobium japonicum* NR^- (desprovisto de nitrato reductasa inductible) o NR^+ (provisto de nitrato reductasa inductible) a la edad de 40 días, se utilizó un sistema de "Raíces separadas", en el cual solamente la mitad del sistema radical recibe el tratamiento con el nitrato. El contenido de nitratos en los diferentes órganos no mostró diferencias por efecto de las dos cepas utilizadas, excepto en las raíces que recibieron el tratamiento con nitrato durante cuatro días. La asimilación del $^{15}\text{NO}_3^-$ fue lenta durante el primer día de tratamiento, luego entre 1 y 4 días fue 10 veces más alta en las raíces y 20 veces más en las hojas. En los nódulos la asimilación fue

más lenta que en los otros órganos vegetales y ésta benefició principalmente a las proteínas citosólicas. El ^{15}N orgánico presente en los nódulos y las raíces, no tratados con el $^{15}\text{NO}_3^-$, confirma la posibilidad de un reciclaje del nitrógeno asimilado. La baja proporción de ^{15}N de origen nitrato acumulado en los nódulos sugiere una considerable incorporación del N_2 fijado en esos órganos. Finalmente, no se encontraron trazas del $^{15}\text{NO}_3^-$ en los bacteroides, sin embargo, la producción de nitritos en los nódulos infectados con *Rhizobium* NR^+ , es testimonio del flujo y reducción del nitrato en los bacteroides, reacción que podría atribuirse a un proceso respiratorio, dado que no hubo asimilación.

SUMMARY

The absorption and assimilation of $^{15}\text{NO}_3^-$ were studied in nodules and other parts of soybean plants, 40 days old, inoculated with *Bradyrhizobium japonicum* NR^+ or NR^- . The "split-root" technique was utilized in which only one half of the root system was supplied with nitrate. No difference was observed in nitrate content in different plant parts as affected by the *Bradyrhizobium* strain. Only the roots showed a slight difference after four days of nitrate treatment. $^{15}\text{NO}_3^-$

assimilation was slow the first 24 h, then between 1 and 4 days it was 10 times faster in roots and 20 times faster in the leaves. Nitrate ($^{15}\text{NO}_3^-$) assimilation in nodules was slow and only cytosolic proteins benefited. The presence of organic ^{15}N in nodules and roots which were not treated with nitrate, confirms the possibility of recycling assimilated nitrogen. The low level of ^{15}N from $^{15}\text{NO}_3^-$ accumulated in the nodules suggest an important incorporation of fixed- N_2 in these organs. Finally, no ^{15}N from $^{15}\text{NO}_3^-$ was detected in bacteroids, but the presence of nitrites (NO_2^-) in the nodules infected with *Bradyrhizobium* NR^+ could be related to the flux and reduction of nitrate by the bacteroids. Since there is no assimilation, this reaction is probably of respiratory origin.

INTRODUCCION

Es bien conocido que las plantas de soya requieren una considerable cantidad de nitrógeno para la formación de semillas, así como para su crecimiento vegetativo y de forma característica una importante porción de ese nitrógeno es aportado por la fijación simbiótica del N_2 , además del N-mineral (principalmente NO_3^-) absorbido por las raíces.

Conforme a los resultados de algunos experimentos con plantas de soya intactas que han sido abastecidas con $^{15}\text{N}_2$ o $^{15}\text{NO}_3^-$, se ha sugerido que el N_2 , fijado en los nódulos, es transportado hacia la parte aérea en forma de alantoina y otros compuestos (Ohyama y Kumazawa, 1979). Por otro lado, parte del NO_3^- absorbido es asimilada en las raíces y luego transportada a la parte aérea en forma de aspargina y aminoácidos. Una fracción del NO_3^- es transportada tal cual, sin ninguna modificación (Becana y Sprent, 1987).

Algunos resultados de Ohyama (1982) sugieren que la forma en que el N se encuentre en la parte aérea, dependerá de su origen (N_2 o NO_3^-) y, no obstante, que tanto el nitrato como el nitrógeno atmosférico pueden abastecer tanto a los órganos reproductivos, como a los

vegetativos, los patrones y las vías de asimilación son diferentes en ambos casos.

Yoneyama e Ishizuka (1982) reportan que en plantas de soya abastecidas con $^{15}\text{N}_2$ o $^{15}\text{NO}_3^-$ o $^{15}\text{NH}_4^+$ la repartición y acumulación del ^{15}N mostraron características diferentes.

El nitrógeno proveniente del $^{15}\text{N}_2$ se distribuyó preferencialmente en los órganos en desarrollo, hojas jóvenes y vainas, en comparación con el nitrógeno del $^{15}\text{NO}_3^-$ que era distribuido igualmente en los órganos en crecimiento y los órganos maduros. El nitrógeno del $^{15}\text{NH}_4^+$ mostró un patrón de distribución semejante al del nitrógeno atmosférico. Además de estos estudios, las investigaciones sobre la repartición del nitrógeno adquirido por las plantas leguminosas son verdaderamente escasas, por lo que en esta comunicación se pretende hacer una aportación acerca de la absorción y asimilación del nitrato en los diferentes órganos (incluidos los nódulos) de plantas de soya inoculadas con dos cepas diferentes de *Bradyrhizobium japonicum*: NR^+ (provista de nitrato reductasa inductible) y NR^- (desprovista de nitrato reductasa inductible).

MATERIALES Y METODOS

Las plántulas fueron inoculadas con 10^9 células ml^{-1} de *Bradyrhizobium japonicum* CB-1809 (NR^- , desprovista de nitrato reductasa inductible) o con *Bradyrhizobium japonicum* USDA 311 b 138 (NR^+ , provista de nitrato reductasa inductible). Las condiciones de cultivo fueron idénticas a las descritas anteriormente (Alcántar y Champigny, 1988), con la única excepción de que el tratamiento a los 40 días con el nitrato (7.5 meq l^{-1} ; 49% $^{15}\text{NO}_3^-$, átomos en exceso) fue aplicado solamente a la mitad de las raíces para estudiar su efecto en la fracción no tratada con nitrato. Para esto se utilizaron recipientes de PVC de 3 l de capacidad total, con una división central (Figura 1). Los muestreos se realizaron 1 y 4 días después de la aplicación del $^{15}\text{NO}_3^-$.

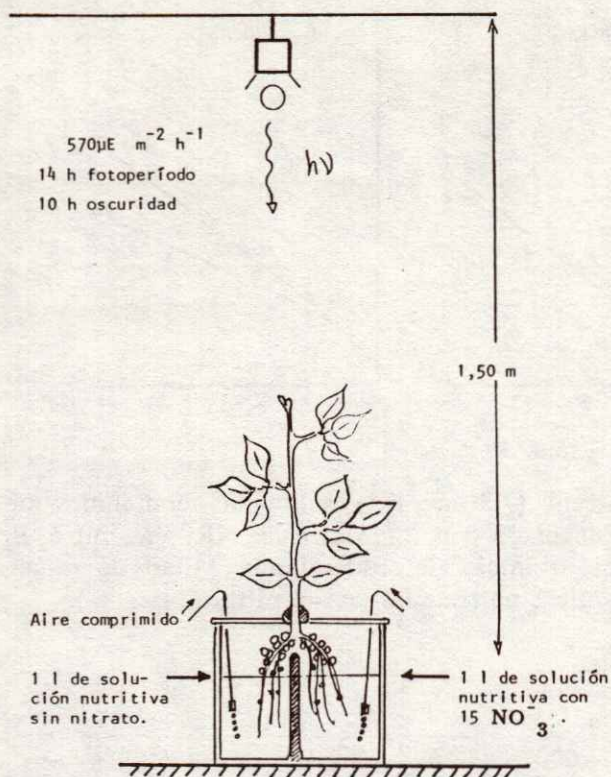


Figura 1. Sistema hidropónico de raíces separadas.

Análisis.

El nitrógeno orgánico de los diferentes órganos se estimó por el método colorimétrico según Nessler (Umbreit *et al.*, 1964), que cuantifica el amonio formado luego de la mineralización sulfúrica de la materia seca. Los nitratos se determinaron en extractos acuosos del tejido vegetal, conforme al método propuesto por Cataldo *et al.* (1975), bajo la forma del complejo formado por nitración del ácido salicílico, en condiciones fuertemente ácidas. En el mismo extracto se cuantificaron los nitritos, usando el método descrito por Nicholas y Nason (1957) que emplea sulfanilamida y N-Naftilen-diamina.

La preparación de las muestras y la determinación de la abundancia isotópica en ^{15}N , se realizaron conforme al protocolo propuesto por Martín (1982). El enriquecimiento en ^{15}N se midió por espectrometría de emisión y la cantidad de ^{15}N asimilado se calculó a partir de la relación:

$$\mu\text{g de } ^{15}\text{N asimilado} = \mu\text{g de N orgánico} \times \frac{\text{Exceso isotópico medido por espectrometría de emisión}}{\% \text{ de enriquecimiento en } ^{15}\text{N del } ^{15}\text{NO}_3^- \text{ en la solución nutritiva}}$$

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La acumulación de nitratos fue más importante en las raíces que en los tallos y las hojas. El aumento en el contenido de nitratos fue continuo durante los cuatro días de tratamiento (Figura 2). Vale la pena subrayar que la cepa bacteriana (NR^+ o NR^-) no tuvo ninguna influencia sobre el contenido de nitratos en esos órganos, excepto probablemente en las raíces que recibieron el tratamiento nítrico durante cuatro días.

Una importante acumulación de nitratos se observó, después de un día de tratamiento, en los nódulos de las raíces sumergidas en la solución nítrica, siendo superior en 34% la de los nódulos de las plantas asociadas a *B. japonicum* NR^- . Cuatro días después del aporte de nitratos la diferencia entre las dos asociaciones desaparece (Figura 3A).

Los niveles de nitratos encontrados en la fracción soluble de los nódulos, son comparables a los reportados por Streeter (1982) con plantas de soya de 42 días tratadas con 7.14 meq de NO_3^- , pero 10 veces menores a los presentados por Wasfi y Prioul (1986). La acumulación del nitrato, después de un día de tratamiento, en los nódulos infectados por *B. japonicum* NR^- puede ser debida a la ausencia de una nitrato reductasa inductible en esos bacteroides.

Los análisis de nitritos se efectuaron con la finalidad de explorar si el primer producto de la asimilación de los nitratos se acumula en los nódulos durante el tratamiento nítrico.

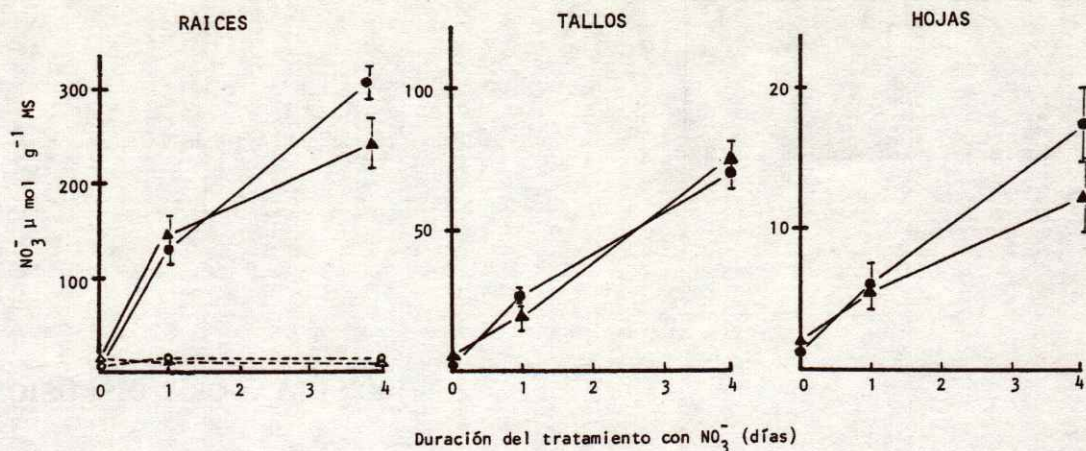


Figura 2. Sistema de raíces separadas: efecto del nitrato (7.5 meq l^{-1}) sobre los contenidos de N-NO_3^- de raíces, tallos y hojas de soja inoculada con *B. japonicum* NR^- (\blacktriangle , \triangle) ó *B. japonicum* NR^+ (\bullet , \circ). Plantas de 40 días al inicio del tratamiento. Mitad de raíces tratadas con el nitrato (—) y mitad de raíces no tratadas con el nitrato (-----).

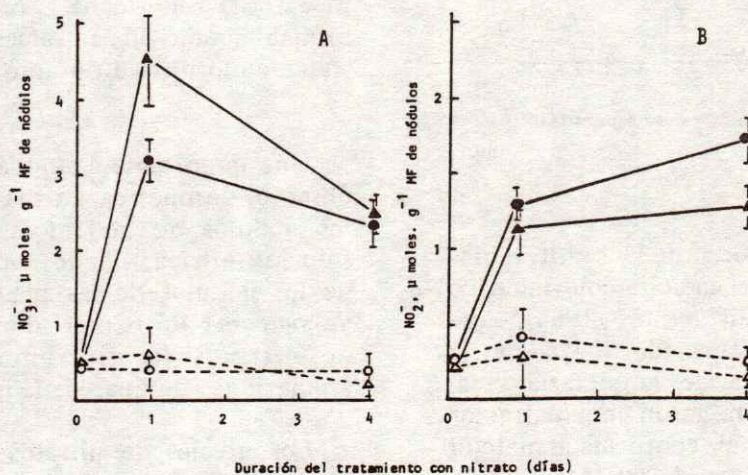


Figura 3. Sistema de raíces separadas: efecto del nitrato (7.5 meq l^{-1}) sobre los contenidos de NO_3^- (A) y NO_2^- (B) en la fracción soluble de nódulos de soja inoculados con *B. japonicum* NR^+ (\bullet , \circ) ó NR^- (\blacktriangle , \triangle). Plantas de 40 días al inicio del tratamiento. Mitad de raíces tratadas con el nitrato (—) y mitad de raíces no tratadas con el nitrato (-----).

En la fracción soluble de los nódulos (citosol) el contenido de nitritos fue apenas detectable (trazas) antes del tratamiento con el nitrato, sin embargo, un día después de la aplicación de este último, el contenido de nitritos aumentó en los dos casos, pero no hubo diferencias significativas por efecto de la cepa NR^- o NR^+ (Figura 3B). En los nódulos

tratados con el nitrato, la acumulación de nitritos continuó hasta el cuarto día alcanzando valores de $1.41 \mu\text{moles}$ de NO_2^- por g MF de los nódulos asociados a la cepa NR^+ (Figura 3B). La presencia de nitritos en los nódulos NR^- podría deberse a la actividad de la nitrato reductasa citosólica.

La más fuerte acumulación de nitritos en los nódulos asociados a la cepa NR^+ , podría explicarse por la presencia de la nitrato reductasa inductible en esos bacteroides, aunque la diferencia solo sea significativa hasta cuatro días después del tratamiento con el nitrato. Las cantidades de nitritos aquí presentadas son más altas que las reportadas por Wasfi y Prioul (1986) y del mismo nivel que las encontradas por Stephens y Neyra (1983).

En cuanto a los contenidos de N-orgánico, se observó una mayor concentración en las hojas (3.5 - 4.0%) al ser comparadas con las raíces (2.8 - 3.0%) y los tallos (1.5 - 2.0%). En cuanto a los nódulos, el contenido de N-orgánico no presentó ninguna diferencia significativa a lo largo de la experiencia, ni entre las fracciones tratadas o no con el nitrato, ni entre los dos casos de simbiosis (resultados no presentados).

En las porciones de raíces de las dos asociaciones simbióticas que no estuvieron en contacto con el $^{15}\text{NO}_3^-$, solamente se encontraron trazas de ^{15}N asimilado, después de un día de tratamiento, sin embargo, al cuarto día, la cantidad de ^{15}N asimilado aumentó 14 veces y 24 veces en las raíces infectadas con *B. japonicum* NR^- y NR^+ , respectivamente (Cuadro 1), debido probablemente a una removilización del nitrógeno asimilado.

En las porciones de raíces tratadas con el $^{15}\text{NO}_3^-$ el aumento del ^{15}N asimilado es mucho más acentuado, atestiguando una intensa absorción y seguramente también una importante reducción en esos órganos. La cinética de asimilación del $^{15}\text{NO}_3^-$ fue la misma en los dos casos de simbiosis estudiados (Cuadro 1).

En el mismo Cuadro 1 se puede observar, que la cantidad de ^{15}N asimilado en los tallos aumenta 10 veces entre el 1o y 4o día de tratamiento, para las plantas asociadas a la cepa NR^- y 15 veces en las plantas en simbiosis con la cepa NR^+ , sin que haya diferencia significativa entre las dos simbiosis. En las hojas de las plantas

asociadas a *B. japonicum* NR^- y a *B. japonicum* NR^+ los niveles de ^{15}N asimilado son idénticos. Entre 1 y 4 días de tratamiento con el nitrato, la cantidad de ^{15}N asimilado aumentó 18 veces y 16 veces, respectivamente.

La distribución del ^{15}N asimilado en los diferentes órganos de la soya, proveniente del $^{15}\text{NO}_3^-$, confirma los resultados de Yoneyama e Ishizuka (1982). La asimilación del $^{15}\text{NO}_3^-$ se lleva a cabo con una cierta latencia durante el primer día de tratamiento y luego entre 1 y 4 días se acelera hasta ser 10 veces más rápida en las raíces y 20 veces más en las hojas.

En el citosol de los nódulos se encontró esencialmente la misma cinética de asimilación del ^{15}N , que la observada para las raíces. No hubo diferencia significativa en la cantidad de ^{15}N asimilado, en esta fracción, entre los dos casos de simbiosis, sin embargo, la

Cuadro 1. Sistema de raíces separadas: cantidad de ^{15}N asimilado a partir de $^{15}\text{NO}_3^-$ en los diferentes órganos de soya inoculada con *B. japonicum* NR^- o NR^+ . Plantas de 40 días al inicio del tratamiento con $^{15}\text{NO}_3^-$ (7.5 meq l^{-1} ; E % = 49).

	Duración de tratamiento	Raíces		Tallo	Hojas
		$-\text{NO}_3^-$	$+\text{NO}_3^-$		
NR^-	1	11	367	187	345
		(22)	(84)	(89)	(141)
	4	159	3558	1791	6759
		(64)	(314)	(324)	(957)
NR^+	1	7	501	162	443
		(16)	(168)	(82)	(104)
	4	167	3481	2584	7173
		(25)	(247)	(442)	(375)

() = desviación estándar.

cantidad de ^{15}N asimilado en el citosol entre 1 y 4 días aumentó significativamente, tanto en los nódulos tratados con $^{15}\text{NO}_3^-$, como en los que no recibieron tratamiento con el nitrato. La cantidad de ^{15}N asimilado fue siempre superior en el citosol de los nódulos tratados con $^{15}\text{NO}_3^-$ (Cuadro 2).

No hubo tampoco un efecto significativo de la cepa bacteriana sobre la cantidad de ^{15}N asimilado en el cortex nodular, ni en los bacteroides. De hecho, el ^{15}N asimilado en estas fracciones solamente fue detectable a nivel de trazas, hasta el cuarto día de tratamiento con el $^{15}\text{NO}_3^-$. Por lo pequeño de estos valores, las mediciones no son interpretables, sin embargo, es claro que durante los cuatro días de tratamiento ninguna de estas dos fracciones de los nódulos, se enriquecen de moléculas orgánicas provenientes de la reducción directa del $^{15}\text{NO}_3^-$ (Cuadro 2).

La distribución del ^{15}N a partir del $^{15}\text{NO}_3^-$, en los diferentes órganos de las plantas y en las diferentes fracciones de los nódulos, se presenta en el Cuadro 3. Los valores se calcularon en % del $^{15}\text{NO}_3^-$ total asimilado. Después de un día de tratamiento nitrato, el ^{15}N se acumuló principalmente en la fracción de las raíces tratadas, luego en las hojas, tallos y citosol de los nódulos en forma decreciente. A los cuatro días la cantidad total de ^{15}N asimilado aumentó más de 10 veces, pero la proporción de ^{15}N disminuyó en las raíces tratadas y en el citosol de los nódulos y aumentó considerablemente en las hojas. La proporción de ^{15}N en los tallos se mantuvo relativamente constante a lo largo del experimento. La cinética de asimilación y translocación del ^{15}N fue prácticamente la misma en los dos casos de simbiosis estudiados (Cuadro 3).

Cuadro 2. Sistema de raíces separadas: cantidad de ^{15}N asimilado a partir de $^{15}\text{NO}_3^-$ en las diferentes fracciones de nódulos de soya inoculada con *B. japonicum* NR^- o NR^+ . Plantas de 40 días al inicio del tratamiento con $^{15}\text{NO}_3^-$ (7.5 meq l^{-1} ; $\text{E} \% = 49$).

<i>B. japonicum</i>	Duración de tratamiento	Fracción de los nódulos					
		Bacteroides		Citosol		Cortex	
		$-\text{NO}_3^-$	$+\text{NO}_3^-$	$-\text{NO}_3^-$	$+\text{NO}_3^-$	$-\text{NO}_3^-$	$+\text{NO}_3^-$
	Días	μg de ^{15}N asimilado en cada fracción					
NR^-	1	0	0	0	25 (12)	0	0
	4	T	T	47 (13)	79 (22)	0	T
NR^+	1	0	0	0	27 (8)	0	0
	4	0	0	29 (9)	89 (10)	0	T

() = desviación estándar
T = trazas

Cuadro 3. Sistema de raíces separadas: repartición del ^{15}N asimilado a partir de $^{15}\text{NO}_3^-$ en los diferentes órganos y las diferentes fracciones de nódulos de soya inoculada con *B. japonicum* NR^- o NR^+ . Plantas de 40 días al inicio del tratamiento con $^{15}\text{NO}_3^-$ (7.5 meq l^{-1} ; $E \% = 49$).

<i>B. japonicum</i>	Día	^{15}N μg asimilado (100%)	Plantas				% del ^{15}N total asimilado Nódulos		
			Raíces $-\text{NO}_3^-$	Raíces $+\text{NO}_3^-$	Tallos	Hojas	Bacteroides	Citosol	Cortex
NR^-	1	946	1.2	38.8	19.3	37.6	0.07	2.8	0.02
	4	12413	1.3	28.7	14.4	54.4	0.13	1.0	0.05
NR^+	1	1148	0.7	43.6	14.1	38.6	0.15	2.8	0.06
	4	13558	1.2	25.7	19.1	52.9	0.17	0.9	0.09

CONCLUSIONES

La cepa bacteriana no tiene ningún efecto sobre el contenido de nitratos en las hojas, tallos y raíces. La mayor acumulación de NO_3^- se presentó en las raíces cinco veces más que en los tallos y 20 veces más que en las hojas. El bajo contenido de nitratos en las hojas sugiere que ese compuesto nitrogenado no es la forma principal de transporte y de acuerdo con Hungria y Neves (1987) la mayor parte del nitrato es reducida en las raíces y luego transportada a la parte aérea en forma de ureidos.

La asimilación del $^{15}\text{NO}_3^-$ —N fue más intensa en las raíces durante las primeras 24 horas de tratamiento, y luego de cuatro días más del 50% del $^{15}\text{NO}_3^-$ —N había sido asimilado en las hojas.

La presencia del ^{15}N -orgánico en las raíces y los nódulos no tratados con el $^{15}\text{NO}_3^-$, confirma la removilización del nitrógeno asimilado en la parte aérea hacia los órganos subterráneos. En los nódulos el N-orgánico debe provenir principalmente de la fijación simbiótica del N_2 , ya que sólo se detectaron

trazas de N enriquecido, proveniente del $^{15}\text{NO}_3^-$, en el cortex nodular y los bacteroides. En estos órganos sólo las proteínas citosólicas se beneficiaron de la reducción del $^{15}\text{NO}_3^-$.

Finalmente, nuestros resultados sugieren, de acuerdo con Becana y Sprent (1987), que en los bacteroides se lleva a cabo solamente una reducción "parcial" del $^{15}\text{NO}_3^-$, la cual podría ser de tipo respiratorio, ya que no hay evidencias de asimilación.

LITERATURA CITADA

- ALCANTAR G., G. y M.L. CHAMPIGNY. 1988. La acción del nitrato sobre algunas enzimas en los nódulos de soya inoculada con *Rhizobium japonicum* NR^+ o NR^- . Terra 6-1: 19-25.
- BECANA M. y J.I. SPRENT. 1987. Nitrogen fixation and nitrate reduction in the root nodules of legumes. *Physiol. Plant.* 70: 757-765.

CATALDO, D.A., M. HAROOM, L.F. SCHRADER y Y.L. YOUNG. 1975. Rapid colorimetric determination of nitrate in plant tissue by nitration of salicylic acid. *Common. Soil Sc. and Plant Analysis* 6: 71-80.

HUNGRIA, M. y M.C. NEVES. 1987. Partitioning of nitrogen from biological fixation and fertilizer in *Phaseolus vulgaris*. *Physiol. Plant.* 69: 55-63.

MARTIN, F. 1982. Absorption, assimilation et transport de l'azote organique chez le pin noire d'Autriche et l'Aulne glutineux. Influence des micorhizes. Thèse 3eme cycle, Université de Nancy I.

NICHOLAS, D.J.D. y A. NASON. 1957. Determination of nitrate and nitrite. In: *Methods in enzymology*. S.P. Colowick y N.O. Raplan (eds). III: 981-984. Academic Press, New York.

OHYAMA, T. 1982. Comparative studies on the distribution of nitrogen in soybean plants supplied with N_2 and NO_3^- at pod filling stage. *Soil Sc. Plant Nutr.* 29(2): 133-145.

OHYAMA, T. y K. KUMAZAWA. 1979. Assimilation and transport of nitrogenous compounds originating from $^{15}N_2$ fixation and $^{15}NO_3^-$ absorption. *Soil Sc. Plant Nutr.* 25: 9-19.

STEPHENS, B.D. y C. NEYRA. 1983. Nitrate and nitrite reduction in relation to nitrogenase in soybean nodules and *Rhizobium japonicum* bacteroids. *Plant Physiol.* 71: 731-735.

STREETER, J.G. 1982. Synthesis and accumulation of nitrite in soybean nodules supplied with nitrate. *Plant Physiol.* 69: 1429-1434.

UMBREIT, W. W., R. H. BURRIS y J.F. STAUFER. 1964. *Manometric Techniques*. 4a ed. Burges Publishing Co., Minneapolis.

WASFI, M. y J.L. PRIOUL. 1986. A comparison of inhibition of French-bean and soybean nitrogen fixation by nitrate, 1% oxygen or direct assimilated deprivation. *Physiol. Plant.* 66: 481-490.

YONEYAMA, T. y J. ISHIZUKA. 1982. ^{15}N study on the partitioning of the nitrogen taken by soybeans from atmospheric dinitrogen, medium nitrate or ammonium. *Soil Sc. Plant Nutr.* 28(4): 451-461.

UN INDICE MORFOLOGICO PARA MAIZ Y SU RELACION CON EL MODELADO DEL SUELO

A Morphological Maize Index and its Relationship with Soil Surface Drainage

Jorge H. Ramírez-Silva y Octavio Pérez-Zamora

INIFAP-Q.Roo. Campo Experimental Chetumal, Apartado Postal 250,
77000 Chetumal, Q.Roo.

INIFAP-Colima. Campo Experimental Tecomán, Apartado Postal 104,
28000 Colima, Col.

Palabras clave: Tasa de crecimiento, Camellones, Plastocrón, Sangrías, Camas elevadas.

Index words: Growth rate, Soil modelling, Camellones, Sangrías, Planting beds, Plastochron.

RESUMEN

El índice morfológico "plastocrón" se utilizó durante la etapa vegetativa de maíz híbrido H-507 desarrollado en cuatro modelados de suelos. Los modelados en cuestión, construidos con la finalidad de mejorar el drenaje superficial de los Vertisoles gleicos, correspondieron a camas angostas, plataformas elevadas o planchés, camellones y sangrías. Se registraron a intervalos semanales, durante el período del 22 de julio al 29 de agosto, la altura, y el número de hojas liguladas. Al final del ciclo se registraron la longitud de la mazorca, el número de hileras y granos por mazorca.

Los resultados mostraron que los tratamientos de modelado de suelo imprimieron fuerte efecto en la fisiología del maíz, y diferencias en altura, número de hojas,

características de la mazorca fueron observadas. El estudio mostró que la altura de la planta puede ser utilizada en condiciones de campo, con alto grado de correlación, como índice de desarrollo. El coeficiente de correlación entre altura y tratamientos de modelado del suelo fue de 0.99, 0.99, 0.98 y 0.94 para planchés, camellones, camas angostas y sangrías, respectivamente. En el mismo orden anterior, para estas mismas estructuras, la tasa de crecimiento fue de 3.2, 4.2, 4.3 y 4.3 cm día⁻¹. Similarmente, la aparición de hoja ligulada sucesiva fue de 4.48, 3.21, 3.15 y 2.92 días para planchés, camellones, camas angostas y sangrías, respectivamente. Durante la etapa vegetativa, la altura final se relacionó con las características agronómicas de la mazorca; y una alta correlación, 0.92, 0.94, 0.94 y 0.94 se encontró para longitud de mazorca, número de hileras, número de granos por mazorca y peso de grano por mazorca. Los resultados del estudio mostraron que es factible utilizar el plastocrón bajo condiciones de campo.

SUMMARY

A study was carried out at Chetumal, in the state of Quintana Roo to test a morphological index for maize growing in the field; the index had been previously tested and found

suitable for maize grown under greenhouse conditions. The index, called "Plastochron" was utilized during the vegetative stages of hybrid maize H-507 planted in four soil surface drainage systems. The drainage systems were broad beds, raised beds, ridges and "sangrias" (a particular form of bed), respectively. At weekly intervals plant height, leaf number, and appearance of two ligulated successive leaves were observed for the period from 22 July to 29 August 1987. At harvest, the length of cob, row numbers, grains per cob, and weight of grain maize was also registered and related to the index.

Findings showed that soil surface modeling had a strong effect on maize growth rates; there were marked differences for height, number of leaves and grain maize weight. The correlation coefficient between plant height and soil treatment effect was 0.99, 0.99, 0.98 and 0.94 for raised beds, ridges, narrow beds and "sangrias", respectively; in this same order the daily growth rate for maize was 3.2, 4.2, 4.3 and 4.3 cm day^{-1} . Similarly, the appearance of two consecutive ligulated leaves took place at intervals of 4.48, 3.21, 3.15 and 2.92 days for raised beds, ridges, narrow beds, and "sangrias", respectively. Maize height at harvest time was also highly correlated (0.92, 0.94, 0.94 and 0.94) with length of the cob, number of rows, number of grains, and grain weight per cob, respectively. The study showed that Plastochron is suitable for the vegetative stage of maize H-507 growing in the field, and that maize height was the most obvious variable for understanding the changes that occur as a result of soil surface modeling.

INTRODUCCION

Con frecuencia se establecen comparaciones entre tratamientos con base en rendimiento; sin embargo, resulta difícil establecer el grado de influencia o relación de los componentes físicos del ambiente con los biológicos; esto se agrava aun cuando los componentes físicos o tratamientos experimentales son de naturaleza cualitativa

como es el caso de modelados del suelo y tipo de labranza (Pérez, 1988; Pérez *et al.*, 1987).

Con relación a lo anterior Pérez (1979) reportó un índice de crecimiento, de naturaleza no destructiva, que permite seguir cuantitativamente las variaciones en crecimiento de las plantas de maíz desarrollándose bajo condiciones de invernadero reportando una estrecha relación lineal entre la elongación de hojas y entrenudos sucesivos de maíz, con los efectos del nitrógeno y fósforo aplicados al suelo. Por otra parte, Ramírez y Pérez (1986) consideraron la altura de plantas como un posible índice morfológico de crecimiento útil para relacionar diferentes modelados del suelo con la ontogenia del cultivo del maíz bajo condiciones de campo en el estado de Quintana Roo.

Pérez *et al.* (1985, 1987) probaron diferentes componentes físicos (modelados de suelo) que tuvieran amplia capacidad de drenaje superficial para evitar los excesos de humedad en el cultivo de maíz. Sin embargo, debido a la naturaleza cualitativa de estos tratamientos, no fue posible establecer relaciones cuantitativas con el crecimiento de las plantas y producción de las plantas. El crecimiento de las plantas de maíz se encuentra en función de diferentes factores como son la temperatura, niveles de humedad, y fertilización (Aitken, 1974; Charles-Edwards, 1982; Charles-Edwards *et al.*, 1986; Pérez, 1988; Warrington y Kanemasu, 1983), los cuales pueden relacionarse con el crecimiento si se identifica alguna parte de la planta que pueda servir como índice. En este sentido Pérez (1988) ha relacionado el número de hojas liguladas y la altura de las plantas de maíz.

Con base en los resultados preliminares observados por Ramírez y Pérez (1986), se amplió el estudio con el objetivo de establecer relaciones cuantitativas entre modelados de suelos y las características vegetativas del maíz siguientes: evaluar durante la etapa vegetativa la altura de la planta y el número de las hojas liguladas.

MATERIALES Y METODOS

El presente trabajo se llevó a cabo durante el ciclo de primavera-verano de 1987 en terrenos del ejido Juan Sarabia del estado de Quintana Roo, donde previamente se localizó y aisló una superficie de 10 ha, en la cual se construyeron en 1985-86 los modelados de suelos, que se muestran en la Figura 1. La temperatura media anual de la zona es de 26.0°C y la precipitación anual de 1200 mm; el 85% de ésta ocurre de junio a octubre.

Características del Suelo.

El suelo referido en este estudio es clasificado por Pérez (1983) como Haplaquept vértico (Gleysol vértico, FAO/UNESCO), el cual es miembro de la familia fina, montmorillonítica, isohipertérmica; la pendiente es de 0.2 a 2.0%; los contenidos de bases son altos, incluyendo Ca, Mg y K; el pH varía de 7.5 a 8.5; el contenido de materia orgánica es pobre; algunas áreas específicas muestran deficiencias de N, P o Zn (Pérez *et al.*, 1985).

Características de los Modelados del Suelo.

En condiciones naturales, suelo plano, el agua disponible para las plantas durante el temporal depende del número de recargas del

perfil del suelo. En los suelos del estudio, la profundidad del sistema radicular y la capacidad de almacenamiento de agua disponible para las plantas se encuentra determinada por la presencia de un horizonte gleisado a unos 15-20 cm de la superficie del suelo. Por otra parte, en condiciones de alta precipitación, se provoca un exceso de agua que debido a la falta de pendiente ocasiona encharcamientos e inundaciones. Los modelados utilizados en el estudio se muestran en la Figura 1, a los cuales se les denomina camas angostas, plataformas elevadas o planchés, camellones y sangrias; el primero requiere para su construcción un movimiento de tierra de 600 m³ o menor, y se le denomina modelado menor, mientras que el resto de los modelados requiere para su construcción, movimientos de tierra mayores a los 600 m³. Estas estructuras de drenaje han sido descritas ampliamente por Pérez *et al.*, 1985; 1987).

Características del Ciclo del Cultivo.

Durante los ciclos de primavera-verano de 1985, 1986, 1987 se sembró maíz de temporal en las estructuras de modelado de suelo. La variedad de maíz utilizada en 1987 fue el híbrido H-507 a 50 cm entre plantas y 75 cm entre hileras; la siembra se hizo en seco en el mes de mayo antes del inicio de las lluvias y se fertilizó con 40 y 100 kg ha⁻¹ de N y

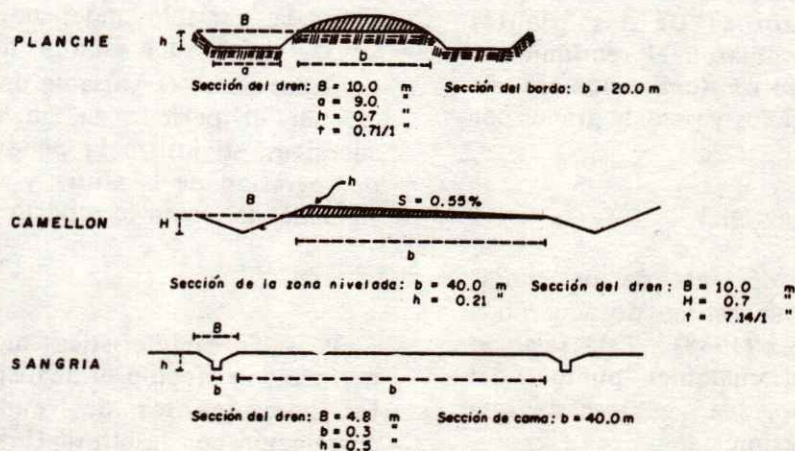


Figura 1. Forma y dimensiones de los modelados de planchés, camellones y sangrias. Las camas angostas son elevaciones de 0.20 m de alto y 1.7 m de ancho que se hacen con borderos (camas meloneras), 1987.

P_2O_5 , respectivamente. Las plagas que afectaron al cultivo fueron gusano cogollero (*Spodoptera frugiperda* Smith), el cual se controló con Lorsban 480. Las malezas presentes fueron zacate Johnson (*Sorghum jalapense*), triguillo (*Echinochloa colona*), Chichibe (*Sida acuta*) y Kanchín (*Panicum fasciculatum*); el control se hizo con herbicidas (Gramoxone y 2,4-D Amina), control mecánico, escarda y manual.

Mediciones Efectuadas.

Durante el período del 22 de julio al 29 de agosto en el ciclo primavera-verano de 1987, se midió la altura de la planta, el grosor del tallo (en la 8a hoja ligulada) y se registró el número de hojas liguladas a intervalos semanales. Las plantas seleccionadas para las mediciones fueron 30 para cada uno de los modelados en estudio, y siempre fueron las mismas plantas durante todo el período de observación. La selección se efectuó bajo el criterio de que tuvieron competencia completa; esto con el propósito de que las plantas tuvieran el mismo espacio para su crecimiento, y las mediciones, como altura, no fueron beneficiadas por tener la planta una menor competencia, mayor humedad y luminosidad; en síntesis se buscó una condición similar de crecimiento.

Al final del ciclo, en la cosecha, se colectaron las mazorcas de las plantas seleccionadas y se evaluaron el rendimiento, longitud de la mazorca (cm), número de hileras, número de granos y peso de granos por mazorca (g).

Estimación del Plastocrón.

La proporción o cociente de dos hojas sucesivas o liguladas se estimó de acuerdo a lo propuesto por Pérez (1988). Esta relación es una constante en cualquier punto del desarrollo vegetativo, la cual se expresa por la siguiente expresión:

$$\ln \frac{\ln L_n}{L_{n+1}} \quad (1)$$

y la denominaremos P. Este parámetro morfológico engloba el desarrollo del híbrido H-507 en sus etapas vegetativas y es independiente de r, ya que ésta (la pendiente) es función de la temperatura y otros factores ambientales; en el presente estudio está en función del contenido de humedad de los modelados de suelo, ya que la temperatura y los niveles nutricionales fueron los mismos para todos los tratamientos.

En consecuencia "P" se puede representar como:

$$P = \frac{\Delta \ln L}{\Delta n} \quad \text{y} \quad r = \frac{d \ln L}{dt}, \quad (2)$$

entonces $\frac{r}{p} = \frac{\Delta t}{\Delta n}$ representa la duración o el

período de iniciación de hojas sucesivas o duración del "plastocrón" (Pérez, 1979).

Análisis de la Información.

A los datos colectados de la planta, altura, se les efectuó el análisis de varianza y de regresión. Se consideró el tiempo (días) como la variable independiente (X) y, la altura, grosor del tallo y número de hojas liguladas como la variable dependiente. Para estimar el período de iniciación de hojas sucesivas, se utilizó la pendiente de la línea de regresión de la altura y número de hojas liguladas tal como lo reportó Pérez (1979).

Para las características agronómicas de la mazorca, se efectuó el análisis de varianza de los componentes de rendimiento, y su correlación con la altura final (al término de las observaciones) de las plantas. De esta manera, utilizando la pendiente y el intercepto de la ecuación se estimó la interrelación entre ambas variables.

RESULTADOS Y DISCUSION

Altura de las Plantas.

Los resultados de las observaciones se muestran en el Cuadro 1. En este cuadro se puede observar una estrecha asociación entre la altura y el modelado de suelo, la cual es de naturaleza lineal para el período de observación (22 de julio al 29 de agosto). En el tratamiento de planchés se observó la menor altura final de plantas (1.57 m), seguido por camellones (2.04 m), camas angostas (2.42 m) y sangrías (2.62 m) lo cual se puede relacionar con las características que dichas prácticas imprimen en el drenaje del suelo. Nava (1986) relacionó esta variación en altura, por efecto del tratamiento, con un cambio en la porosidad del suelo.

El crecimiento de las plantas de maíz H-507 observado en Q.Roo fue igual o semejante al que se reporta en modelos clásicos de crecimiento que aparecen en la literatura (Bidwell, 1974; Evans, 1963; Nobel, 1974), así como los reportados por Pérez (1979) para maíz en condiciones de invernadero; en esta clase de modelos la velocidad de crecimiento es

constante en tiempo. La ecuación que representa la variación de la altura con el tiempo es del tipo:

$$dA/dt = K \quad (3)$$

donde A es la altura, t el tiempo y K la constante. Con la finalidad de expresar la altura de la planta, durante el período vegetativo de observación, la ecuación diferencial anterior se integra como sigue:

$$\int_{a_0}^a dA = K \int_{t_0}^t dt; \quad A = A_0 + K (t - t_0) \quad (4)$$

donde A es la altura final, A_0 es la altura inicial y t y t_0 , son los tiempos finales e iniciales, respectivamente, durante los cuales el crecimiento tomó lugar.

La velocidad de crecimiento para el período de seis semanas de observación fue de 3.2, 4.2, 4.3 y 4.6 cm día⁻¹ para planchés, camellones, camas angostas y sangrías, respectivamente. Estas diferencias en crecimiento integran en la planta las condiciones ambientales que prevalecieron durante el estudio, y en este caso se relacionan con los contenidos de humedad de las estructuras. Esto está dado por las características de drenaje de dichas estructuras: planchés fue diseñado para tener el máximo drenaje superficial, y dado que la precipitación del ciclo fue 250 mm inferior, que la precipitación media (período de 20 años), era de esperar que esta situación se reflejara en el crecimiento de las plantas; tal como ocurrió en el presente trabajo. En consecuencia, las plantas de maíz desarrollándose en los planchés estuvieron sujetas a mayor estrés por falta de agua que las que se desarrollaron en el resto de las estructuras. En síntesis, el crecimiento observado para el maíz híbrido H-507 en condiciones de temporal en Q.Roo, fue de rápido crecimiento y naturaleza similar al crecimiento primario reportado por Pérez (1979) para pastos y bambú; en este último la velocidad de crecimiento es de 2.0 cm día⁻¹ para un período de dos meses.

Cuadro 1. Altura de maíz H-507 de temporal en suelos arcillosos con diferente modelado de suelo. Ejido Juan Sarabia, Q.Roo. 1987.

Fecha	Modelado			
	Planchés	Camellones	Camas angostas	Sangrías
	----- m -----			
1. 22 julio	0.45	0.57	0.89	0.99
2. 1 agosto	0.62	0.88	1.38	1.50
3. 8 agosto	0.87	1.29	1.71	2.04
4. 15 agosto	1.02	1.67	2.12	2.59
5. 22 agosto	1.31	1.97	2.40	2.60
6. 29 agosto	1.57	2.04	2.42	2.62
bo	0.191	0.307	0.713	0.856
m	0.223	0.311	0.317	0.342
r	0.995	0.987	0.975	0.937

Las observaciones anteriores sugieren que el crecimiento en los diferentes modelados de las plantas puede ser representado por una línea recta con alto coeficiente de determinación (99.5 a 93.7%), tal como se muestra en el Cuadro 1. En estas condiciones la altura de la planta puede considerarse como un índice de desarrollo si cumple el requisito adicional que reporta Pérez (1979); esto es, que la altura de las plantas se relacione con las etapas de desarrollo.

Número de Hojas Liguladas.

El número de hojas liguladas del maíz híbrido H-507 en cada uno de los modelados de suelo en estudio se muestra en el Cuadro 2. Aunque al final del período de observación los tratamientos en cuestión mostraron el mismo número de hojas liguladas, esto no fue así para las observaciones anteriores al 29 de agosto, tal como puede constatarse en el Cuadro 2. El efecto de los tratamientos sobre el número de hojas liguladas se manifestó marcadamente desde el inicio de las observaciones (22 julio); en la primera semana fue de 7.6, 8.8, 11.4 y 9.6 hojas liguladas, para planchés, camellones, camas angostas y sangrías, respectivamente. Esta tendencia,

Cuadro 2. Número de hojas liguladas de maíz H-507 de temporal en suelos arcillosos con diferente modelado. Ejido Juan Sarabia, Q.Roo. 1987.

Fecha	Modelado			
	Planchés	Camellones	Camas angostas	Sangrías
1. 22 julio	7.6	8.8	11.4	9.6
2. 1 agosto	10.6	11.3	12.7	12.4
3. 8 agosto	13.0	14.2	15.8	16.0
4. 15 agosto	15.4	18.2	19.6	20.3
5. 22 agosto	19.7	20.7	21.6	21.7
6. 29 agosto	21.1	20.9	21.7	21.7
bo	6.44	6.40	8.76	7.68
m	2.43	2.64	2.38	2.64
r	0.98	0.98	0.97	0.96

lineal y diferencial, entre tratamientos fue más manifiesta el 15 de agosto, notándose que en planchés el número de hojas liguladas era de sólo 15.4, en contraste con 18.0, 19.6 y 20.3 hojas liguladas para camellones, camas angostas y sangrías, respectivamente.

Lo anterior corrobora lo reportado por Pérez (1979) en el sentido de que plantas de la misma edad cronológica (misma fecha de siembra y emergencia) pueden tener diferente edad morfológica. Esto se encuentra relacionado con el hecho de que las plantas se encuentren sujetas a variaciones ambientales, (contenidos de humedad, porcentaje de aireación y niveles nutricionales, entre otros), los cuales imparten su característica diferencial a las plantas. Esto es de importancia fundamental al efectuar muestreos cuando se comparan tratamientos no cuantitativos como son los que se utilizan en el presente estudio; por ejemplo, si la hoja necesaria para muestrear índices nutricionales, contenidos de clorofila, etc. es la hoja 8, esto implicaría que conllevaría implícitas fuertes variaciones cronológicas, ya que en planchés dicha hoja se presentó hasta el 29 de julio, en contraste con el resto de los tratamientos, en los cuales para la misma fecha ya se tenían las hojas liguladas 9, 11 y 9 para camellones, camas angostas y sangrías, respectivamente.

Relación entre Altura de las Plantas y Número de Hojas Liguladas.

Dado que ambos, la altura de las plantas y el número de hojas liguladas, muestran fuerte relación con el tiempo, según se observó en los Cuadros 1 y 2, es posible expresar dicha relación como un índice de crecimiento morfológico al graficar ambas variables dependientes y observar la relación que existe entre ellas. Como era de esperarse, ya que ambas están en función del tiempo, en la Figura 2 se observa una alta correlación entre el número de hojas liguladas y la altura de las plantas; esta correlación es del orden de 0.99, 0.99, 0.98 y 0.99, para planchés, camellones, camas angostas y sangrías, respectivamente. Lo anterior ilustra que la

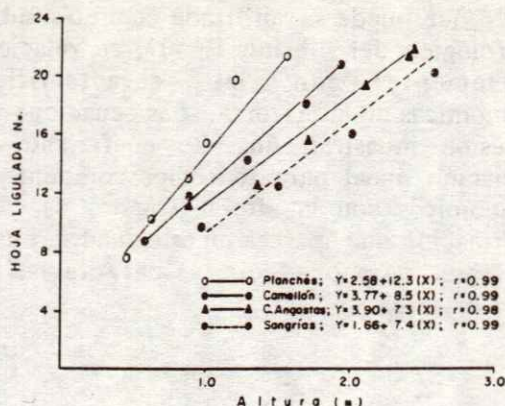


Figura 2. Relación entre hojas liguladas y altura de las plantas de maíz en diferentes modelados del suelo. Juan Sarabia, Q.Roo. 1987.

altura de las plantas, en las condiciones en las que se condujo el estudio, integra las variaciones morfológicas que se presentan por efecto de tratamiento o modelado de suelo, de tal manera que la variación que se tendría al planear muestreos y observaciones cronológicas pudiera ser disminuida al eliminar el tiempo como factor de variación.

Basándose en información observada se concluye que la altura de la planta de maíz híbrido H-507 es un integrador de lo que acontece en el ambiente físico (tratamientos de drenaje superficial), y puede ser considerado como el índice más sencillo y práctico de utilizar, además que su relación con respecto a tiempo puede ser establecida tal como lo expresó Pérez (1979 y 1988) por la ecuación:

$$\text{Altura} = Kt \left/ \begin{matrix} t \\ t_0 \end{matrix} \right. \quad (5)$$

donde t refiere al tiempo asociado con la iniciación de hojas liguladas sucesivas bajo las condiciones en que se estableció el experimento. En el experimento las temperaturas y los estados nutricionales fueron similares para los tratamientos y el único factor que varío fue el estatus de humedad; esto se debió a la naturaleza de las estructuras para el desalojo de los excesos de agua. En consecuencia, es de esperarse que los

contenidos de humedad afectaran la constante K en magnitud, pero no en la naturaleza de la curva (lineal en tiempo) tal como lo estableció previamente Pérez (1979).

De conformidad con lo encontrado en el presente estudio y utilizando los parámetros de las ecuaciones que se muestran en el Cuadro 2, es posible calcular y determinar el período de iniciación de hojas sucesivas del híbrido H-507 en función del tiempo para cada uno de los tratamientos; esto por la naturaleza de la pendiente de la ecuación de regresión. En cualquier punto del desarrollo se puede estimar el número de hojas liguladas del 29 de julio al 29 de agosto de las ecuaciones de regresión que se muestran en el Cuadro 2. En el mismo Cuadro 2, el período de iniciación de hojas sucesivas es igual a:

$$\ln L_n = \ln L_n(\text{no}) + rt \quad (6)$$

(Pérez, 1979); donde L_n es la hoja ligulada n , y L_{n+1} es la hoja ligulada $n+1$, r es la pendiente de la curva, y t es el tiempo; esto también puede escribirse como $L = L_0 e^{rt}$. La ecuación para la siguiente hoja ligulada es:

$$\ln L_{(n+1)} = \ln L_{(n+1)0} + rt \quad (7)$$

Esto es cierto por que las líneas son paralelas; substrayendo ambas ecuaciones:

$$\ln L_n - \ln L_{(n+1)} = \ln L_{(no)} - \ln L_{(n+1)0} \quad (8)$$

En el presente estudio el período de iniciación de hojas liguladas sucesivas es dy/dx (Cuadro 2), en el cual y = índice de plastocrón (IP) y x = tiempo, en donde la pendiente de la línea ajustada r/p es igual a el intervalo de plastocrón para el híbrido H-507. De esta manera dy/dx , es igual a 0.223 día^{-1} , 0.311 día^{-1} , 0.317 día^{-1} y 0.342 día^{-1} , para planchés, camellones, camas angostas y sangrías, respectivamente; en consecuencia el período de iniciación de hojas sucesivas (liguladas) es de 4.48, 3.21, 3.15 y 2.92 días para planchés, camellones, camas angostas y sangrías, respectivamente; en esta conversión 4.45 días es el inverso de 0.223 día^{-1} , y

similarmente para el resto de las estructuras se determinó el período de iniciación de hojas liguladas.

Lo anterior corrobora que es posible, mediante el cálculo del plastocrón, determinar bajo condiciones de campo y con considerable precisión (de algunas horas) el período de iniciación de hojas sucesivas en el híbrido H-507, y en consecuencia puede ser utilizado como sustituto del tiempo en varios estudios, cuando se trate de reducir o atenuar la variación que conlleva la variación morfológica o cronológica.

Componentes Agronómicos de la Mazorca de Maíz.

En el Cuadro 3 se muestra la longitud (cm), el número de hileras, el número de granos y el peso de granos de maíz por mazorca para cada uno de los tratamientos de drenaje superficial.

Se encontraron diferencias estadísticas entre tratamientos para altura final de plantas, número de granos por mazorca y peso de granos por mazorca (Cuadro 4). Por otra parte, no se encontraron diferencias significativas para longitud de mazorca ni para el número de hileras por mazorca (resultados no presentados).

El componente de rendimiento que mostró mayor efecto por los tratamientos efectuados al suelo fue el peso de grano por mazorca, registrándose diferencias de 91.6 g por mazorca para el tratamiento de planchés y el de sangrias. El mayor peso por mazorca correspondió al tratamiento de camas angostas (153.1 g). Esto es de interés, por que este componente es el que tiene mayor contribución en la expresión de producción total del cultivo del maíz.

Las ecuaciones de regresión, utilizando a la altura como variable independiente y las características agronómicas de la mazorca como variables independientes se muestran en el Cuadro 5. La altura de la planta obtenida en cada uno de los tratamientos, la cual se

indicó que puede ser utilizada como un índice morfológico del híbrido H-507, se relacionó fuertemente con las características agronómicas de la mazorca. Las ecuaciones de regresión muestran un alto coeficiente de asociación lineal para todos los componentes agronómicos con la altura (Cuadro 5). La información que aparece en este cuadro, puede utilizarse para predecir las características de la mazorca.

Cuadro 3. Características agronómicas de la mazorca de maíz H-507 de temporal y su relación con modelado del suelo. 1987.

Tipo de modelado	Características de la mazorca			
	Longitud	No. de hileras	No. de granos	Peso grano
	cm			g
Planchés	10.1	8.8	208.6	56.12
Camellones	12.9	11.5	354.6	95.3
Camas angostas	16.0	14.5	514.8	153.1
Sangrias	15.5	14.2	499.1	147.7

Cuadro 4. Análisis de varianza de características agronómicas de maíz de temporal y su relación con modelado de suelo.

Fuente	Altura	No. granos/mazorca	Peso mazorca
			g
CME	0.0105	3632.25	574.28
F calc. trat.	60.24 *	16.94 *	11.06 *
F calc. repet.	5.06	0.775	0.06
CV (%)	4.72	15.29	21.19
g.l. trat.	3	3	3
g.l. repet.	3	3	3
g.l. error	9	9	9
\bar{X}	2.17 m	394.08	113.06

* 0.05

Cuadro 5. Relación entre características agronómicas de la mazorca de maíz (Y) y la altura final (m) observada en diferentes modelados de suelo. Ciclo P-V. 1987.

Característica agronómica mazorca (Y)	bo	m	r	r ²	Ecuación de predicción
Longitud (cm)	1.33	5.68	0.96	0.92	Y = 1.33 + 5.68 (X)
Hileras (No.)	0.05	5.64	0.97	0.94	Y = 0.05 + 5.64 (X)
Granos (No.)	-259.06	302.12	0.97	0.94	Y = 259.06 + 302.12 (X)
Peso grano (g)	96.7	-96.12	0.97	0.94	Y = 96.12 + 96.7 (X)

CONCLUSIONES

1. En condiciones de campo, durante la etapa vegetativa del híbrido H-507, el plastocrón puede utilizarse como índice morfológico de desarrollo.
2. La altura de la planta de maíz resultó la variable más sencilla, que puede integrar el efecto de los tratamientos y relacionarse con el número de hojas liguladas y con las características agronómicas de la mazorca.
3. De la pendiente de la ecuación de regresión es posible estimar el tiempo de iniciación de hojas sucesivas o liguladas, dada la naturaleza lineal del plastocrón durante la etapa vegetativa.
4. El valor K de la pendiente de la ecuación de regresión del plastocrón está determinado por la variación ambiental que los tratamientos de drenaje imparten al suelo.
5. Los tratamientos de drenaje afectaron considerablemente el estado de desarrollo o tasa de producción de las hojas del híbrido H-507, sin embargo, dicha tasa de producción puede medirse con precisión por el plastocrón.
6. La altura de la planta puede ser utilizada en la selección de métodos de muestreo de plantas de maíz.

LITERATURA CITADA

- AITKEN, Y. 1974. Flowering time, climate and genotype. Melbourne University Press.
- BIDWELL, R.S. 1974. Plant physiology. Macmillan Publishing Co., Inc. New York.
- CHARLES-EDWARDS, D.A. 1982. Physiological determinants of crop growth. Academic Press. Sidney.
- CHARLES-EDWARDS, D.A., D. DOLEY y G.M. RIMMINGTON. 1986. Modelling plant growth and development. Academic Press. Sidney.
- EVANS, L.T. 1963. Environmental control of plant growth. Academic Press, New York and London.
- NAVA P., R. 1986. Drenaje superficial de los suelos Vertisoles gleycos para la producción de maíz en el estado de Q.Roo. Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Buenavista Saltillo, Coahuila.
- NOBEL, P.S. 1974. Introduction to biophysical plant physiology. W.H. Freeman and Company. San Francisco.

PEREZ Z., O. 1979. Effects of nitrogen and phosphorus additions on the growth and composition of corn (*Zea mays* L.) plants grown on a calcareous soil. Ph.D. Thesis, University of California. Davis, USA.

PEREZ Z., O. 1983. Subutilización de los suelos de drenaje lento (Vertisoles gleycos) del estado de Q.Roo, México. Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos. Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas. (Mimeógrafo).

PEREZ Z., O. 1988. Un índice morfológico del estado de desarrollo de las plantas de maíz y su posible utilización. Terra 5-2: 110-117.

PEREZ Z., O., R. NAVA P., J. RAMIREZ S. y G. URIBE V. 1987. El uso de camas elevadas para la producción de granos básicos y oleaginosas en suelos con drenaje pobre en el estado de Q.Roo. Folleto Técnico # 87. INIFAP.SARH.México. 26 p.

PEREZ Z., O., R. NAVA y G. URIBE. 1985. Manejo del suelo y del agua en el estado de Q.Roo. Resumen 1a. Reunión Nacional sobre Manejo de Suelos Arcillosos y su implicación en la Agricultura. Celaya, Gto. 2-5 Octubre 1985.

RAMIREZ S. J.H. y O. PEREZ Z. 1986. Uso de un índice morfológico durante la etapa vegetativa del maíz y su relación con el modelado de suelos arcillosos. Resúmenes del XIX Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo. Manzanillo, Colima. p. 26.

WARRINGTON I.J. y E.T. KANEMASU. 1983. Corn growth response to temperature and photoperiod II. Leaf-initiation and leaf appearance rates. Agron J. 75: 755-761.

COMPARACION ENTRE EL CRECIMIENTO DE LA RAIZ Y EL CRECIMIENTO
DE LA PARTE AEREA DEL CULTIVO DE ALGODON EN DIFERENTES
REGIMENES DE HUMEDAD DEL SUELO

Comparison between Root and Shoot Growth of Cotton under
Different Soil Water Regimes

Leonardo Tijerina Chávez

Centro de Hidrociencias, Colegio de Postgraduados,
56230 Montecillo, Edo. de México, México.

Palabras clave: Contenido de agua en el suelo (θ), Potencial del agua en el suelo (ψ_s), Altura de la planta (PH), Densidad de la longitud de las raíces (L_v), Densidad de longitud de raíces por unidad de superficie (L_a), Porcentaje de luz interceptada (%LI).

Index words: Soil water content (θ), Soil water potential (ψ_s), Plant height (PH), Root length density (L_v), Root length per unit of ground cover (L_a), Percentage of light intercepted (%LI).

RESUMEN

El algodón cultivado *Gossypium hirsutum* requiere riego y responde en diferentes formas dependiendo de la calendarización en que éste se aplique. El objetivo del presente trabajo es estudiar la interdependencia entre el crecimiento del tallo y la raíz en el cultivo con fines de su caracterización en función del régimen de humedad del suelo a lo largo de la estación de crecimiento.

Dos experimentos fueron conducidos en 1983 y 1984 con algodón *Gossypium hirsutum* variedad Paymaster 792, sometida a tres tratamientos de humedad en el suelo: seco, intermedio y húmedo.

El contenido de agua en el suelo (θ) y el potencial del agua en el suelo (ψ_s) fueron medidos en diferentes fechas durante el experimento en cada parcela.

Paralelamente se midieron los siguientes parámetros de la planta: altura de la planta (PH), porcentaje de la luz interceptada (%LI), densidad de la longitud de raíces (L_v), densidad de longitud de raíces por unidad de superficie (L_a).

Diferencias en crecimiento de la parte aérea entre los tratamientos fueron observadas como consecuencia de los tratamientos de riego. La densidad de las raíces fue mayor en las capas profundas del suelo al final de la estación en el tratamiento seco. La longitud de raíces aumentó rápidamente a medida que el porcentaje de la luz interceptada aumenta. La relación L_a /%LI permaneció constante después de 50 días después de emergencia. Esto indica que se establece un equilibrio entre el crecimiento de la parte aérea y el sistema radical en respuesta al régimen de humedad en el suelo.

SUMMARY

Cultivated cotton *Gossypium hirsutum* requires irrigation; cotton responds to irrigation in different ways depending on timing.

The objective of this study was to find the interdependence between root and shoot growth.

Two field experiments were conducted in 1983 and 1984 with cotton *Gossypium hirsutum* var. Paymaster 792 with three irrigation treatments dry, cut off and wet. Soil water content (θ) and soil water potential (ψ_s) were measured during the experimental period in each experimental plot.

Simultaneously, the following plant parameters were measured: plant height (PH), percentage of light intercepted (%LI), root length density (Lv), and root length per unit of ground cover (La). Differences in shoot growth were observed among the treatments early in the season as a consequence of irrigation treatments.

Root length density was greater in the lower soil layers in the dry treatment late in the season. The root length increased at faster rate as %LI increased in all treatments.

The ratio La/%LI remained constant 50 days after emergence; this indicates that during the early stages of the most active growth period, root length kept pace with canopy development and the corresponding increase in transpiration demand.

INTRODUCCION

En estudios de relaciones agua-suelo-planta, la parte aérea de las plantas (hoja, tallos, peciolas, etc.), ha recibido la mayor atención, mientras que la porción subterránea ha sido omitida en la mayoría de los estudios. Street (1959) puntualizó que la planta es autotrófica por naturaleza; sin embargo, los órganos individuales al menos por algún tiempo son heterotróficos y dependen de otros órganos para satisfacer su demanda de substancias elaboradas. Desde este punto de vista, las interrelaciones entre la raíz y la parte aérea deben ser estudiadas considerando la planta en su conjunto. La raíz y el tallo están en

constante competencia por la energía disponible para su desarrollo. Esto significa que la relación entre la parte aérea y la raíz puede variar con la edad de la planta y las características del medio ambiente en que vive (Aung, 1974). Brouwer (1962) ha postulado que cuando los carbohidratos sintetizados en la parte aérea llegan a ser deficientes por alguna razón, las raíces son los órganos más afectados; sin embargo, cuando las raíces crecen en condiciones limitadas de nutrientes o agua la parte aérea es la más afectada.

La distribución de las raíces de cualquier especie en el perfil del suelo es controlada genéticamente, pero puede ser modificada por diferentes factores del suelo como son: contenido de agua, disponibilidad de nutrientes, textura, estructura, resistencia a la penetración, calcio y sales en general, herbicidas, patógenos, etc. Un número considerable de investigaciones ha sido dedicado a estudiar como influye cada factor en particular asumiendo los demás como constantes. Sin embargo, la complejidad de la interacción de todos estos factores y de la dificultad de separar las raíces del suelo para su análisis hace difícil obtener resultados satisfactorios en corto tiempo.

Específicamente en lo que respecta al efecto de la disponibilidad de agua en el suelo sobre el crecimiento de la parte aérea del algodón, éste ha sido ampliamente estudiado por muchos investigadores (Cutler y Rains, 1977; Oliveira, 1982; Radulovich, 1984). Estos autores han concluido que diferente calendarización del riego en este cultivo induce a diferentes respuestas fisiológicas, por ejemplo: una deficiencia de agua, al inicio de la estación, induce a obtener plantas de baja estatura, con pocos puntos de fructificación y un alto valor en la relación raíz/tallo, mientras que riegos frecuentes inducen a obtener plantas con gran desarrollo de follaje, retardan la fructificación y maduración y favorecen una baja relación raíz/tallo.

Disminuciones significativas en la producción de biomasa y rendimiento comercial

en este cultivo han sido reportadas por Jordan (1983), McArthur *et al.* (1975) y Stanhill (1976), entre otros, concluyendo que cuando ocurren deficiencias de agua en el suelo la magnitud de la reducción en rendimiento depende de la velocidad a que se desarrolla el déficit hídrico y de la severidad de dicho déficit.

El presente trabajo tiene como objetivo estudiar la interrelación que existe entre el crecimiento de la parte aérea y la raíz del cultivo de algodón *Gossypium hirsutum* variedad Paymaster 792 con el fin de su caracterización en función de diferentes regímenes de humedad en el suelo durante su ciclo vegetativo.

MATERIALES Y METODOS

Localización y Datos Generales del Sitio Experimental

Este estudio fue realizado en el Departamento de Land, Air, and Water Resources de la Universidad de California, Davis.

Dos experimentos de campo fueron realizados durante 1983 y 1984 en diferentes lotes del campo experimental localizado en el Valle de Sacramento. El suelo es aluvial perteneciente a la serie Yolo; la textura es arcillo limosa en una profundidad de 3 m y el contenido de humedad aprovechable en el perfil del suelo en promedio es de 0.16 cm^3 de agua por cm^3 de suelo, permitiendo un desarrollo radical profundo.

El clima es mediterráneo caracterizado por invierno frío y lluvioso, ocasionando que en este período se almacene una gran cantidad de agua en el suelo, el verano es caliente y sin lluvias, con alta intensidad de radiación y alta demanda evapotranspirativa. Durante las noches de verano la temperatura baja debido a la intrusión de masas de aire frío provenientes del Océano Pacífico.

Tratamientos

Los experimentos consistieron de tres tratamientos de riego y tres repeticiones. Los tratamientos de riego fueron: (1) húmedo: consistió en aplicar dos riegos a los 35 y 55 días después de emergencia (DDE) en 1983 y tres riegos en 1984 a los 31, 55 y 85 DDE; (2) intermedio: se aplicó un riego a los 35 DDE en 1983 y a los 31 DDE en 1984; (3) seco: no se regó después de emergencia.

En el tratamiento intermedio se estudió el efecto que causa un abatimiento rápido de la humedad aprovechable del suelo, cuando ocurre a la mitad de la estación de crecimiento del cultivo.

Trabajos de Campo

La preparación del terreno consistió de un barbecho y de dos pasos de rastra en direcciones perpendiculares. Se aplicó nitrógeno a razón de 120 kg ha^{-1} antes que los surcos se trazaran.

La separación de los surcos fue de 50 cm, la variedad del algodón sembrada fue Paymaster 792 cuyas características de su ciclo vegetativo se ajustan a las condiciones climatológicas de Davis.

Se aplicó herbicida preemergente (Dacthal W-75) a razón de 74.5 kg ha^{-1} para evitar la emergencia de algunas gramíneas y plantas de hoja ancha, las fechas de siembra fueron en la última semana de mayo, la densidad de siembra fue de 16 plantas por metro y las semillas fueron depositadas a 5 cm de profundidad.

Diez días después de la siembra se consideró completa la emergencia. Durante el período comprendido entre la siembra y la emergencia, para evitar la formación de costra superficial, se aplicaron pequeñas láminas de riego (5 mm día^{-1}) utilizando el sistema de riego por aspersión. A los 24 DDE la densidad de siembra se ajustó a ocho plantas por metro en las hileras.

Durante el experimento de 1983 a los 26 DDE para el control de trips se aplicó dimethoate 267 a razón de 750 ml ha^{-1} , y en 1984 fueron necesarias tres aplicaciones de insecticida: a los 15, 51 y 81 DDE. Las primeras dos aplicaciones se hicieron con el producto anterior a igual dosis para el control de trips y chinche *Lygus Lygus hesperus* (knight) y la última aplicación fue de Methomil a razón de 2.5 l ha^{-1} para combatir el gusano soldado *Spodoptera exigua* (Hubner).

El riego en cada tratamiento se aplicó utilizando tubería de compuertas. El volumen de agua aplicado fue calculado midiendo el tiempo y el gasto derivado a cada parcela.

Muestreo para Determinar la Humedad del Suelo y la Longitud de Raíces

Las muestras de suelo fueron tomadas con la barrena Veihmeyer a los 35, 46, 55, 68, 83, 102, 135 DDE en 1983 y a los 11, 24, 31, 45, 52, 66, 84, 104 y 133 DDE en 1984. Las muestras se sacaron de las profundidades de 0-30, 30-60, 60-90, 90-120, 120-150, 150-180, 180-210, 210-240, 240-270, 270-300 cm a 10 cm de distancia de cada planta en dos direcciones perpendiculares (en la hilera y en el surco).

Contenido de Agua en el Suelo (θ)

El contenido inicial del agua en el suelo en ambos experimentos fue determinado por el método gravimétrico, muestreándose a las profundidades indicadas anteriormente en seis sitios distribuidos al azar en el lote. Posteriormente, para medir este parámetro se utilizó el aspersor de neutrones, para lo cual, después de efectuada la siembra, se insertaron en las parcelas de cada tratamiento dos tubos de acceso de aluminio de 5 cm de diámetro hasta una profundidad de 300 cm con una máquina perforadora (Modelo G SRP-S Guiddings Machine Co. Fort Collins, Colorado). El aspersor de neutrones utilizado fue el Modelo 503 Hydroprobe, Campbell Pacific Co., previamente calibrado. Las mediciones fueron hechas aproximadamente cada diez

días y adicionalmente se hicieron medidas antes y después de cada riego.

En la capa de 0-30 cm el contenido de humedad del suelo fue determinado por el método gravimétrico. Para expresar el contenido de agua en el suelo en bases volumétricas, fue necesario utilizar los datos de la densidad aparente de cada capa, previamente publicados por Acevedo (1975).

Potencial de Agua en el Suelo

El potencial del agua en el suelo únicamente fue medido en el experimento realizado en 1984, para lo cual se instalaron bloques de yeso en la misma hilera en que fueron instalados los tubos de acceso mencionados anteriormente. La separación entre cada uno de los bloques fue 60 cm y las profundidades a que se instalaron fueron: 15, 30, 45, 60, 90, 120, 150, 180 y 210 cm; adicionalmente, en el surco adyacente fueron instalados tensiómetros a las siguientes profundidades 120, 150, 180 y 210 centímetros.

Las observaciones fueron tomadas en los tratamientos húmedo y seco en las siguientes fechas después de emergencia: 17, 24, 31, 35, 38, 45, 52, 59, 66, 73, 84, 94 y 104. En el tratamiento intermedio se instalaron sólo bloques de yeso y las medidas fueron tomadas a los 59, 66, 73, 84, 94 y 104 días después de emergencia.

Determinación de la Densidad de Longitud de Raíces

Las muestras de suelo fueron tomadas como se indicó anteriormente para posteriormente determinar la densidad de longitud de raíces (L_v) en el laboratorio.

Para la determinación de la L_v se pesaron 100 g de muestra de suelo correspondiente a cada profundidad, secado previamente a 70°C en un horno de ventilación. Para la estimación de la L_v se utilizó la técnica de

intersección; la ecuación que relaciona la longitud de raíces en función del número de intersecciones en una distribución aleatoria de líneas rectas sobre una área fija fue desarrollada por Newman (1966).

La técnica para separar raíces a partir de la muestra de suelos es descrita por Acevedo (1975) y Vega (1972) con innovaciones propuestas por el Dr. D.W. Henderson del departamento de Ciencia del Agua de la Universidad de California para mejorar la replicabilidad del procedimiento.

La longitud total de raíces en cada muestra de suelo fue calculada por medio de la ecuación calibrada por Tijerina (1985):

$$R = 2.48 * N$$

donde:

R = longitud de raíces en cm
N = número de intersecciones

El factor 2.48 considera el área sobre la cual fueron distribuidos aleatoriamente los segmentos de raíz y la longitud total de líneas rectas de los cuadros seleccionados en la cuadrícula.

La densidad de raíces fue calculada usando la siguiente ecuación:

$$L_v = R \cdot D_b / W$$

donde:

L_v = densidad de raíces en cm cm^{-3}
 D_b = densidad aparente en g cm^{-3}
W = peso del suelo de la muestra en gramos.

Altura de la Planta

Este parámetro fue medido semanalmente en ambos experimentos (1983 y 1984). La altura de diez plantas seleccionadas aleatoriamente fue medida en cada parcela por medio de una regla con aproximación de 1 mm. La altura fue medida desde el nivel del suelo hasta el meristemo de crecimiento del tallo principal.

Luz Interceptada

La luz interceptada (%LI) medida aproximadamente a medio día estima el porcentaje de cobertura del cultivo, la medición se hizo con un radiómetro cuántico de un metro de longitud (Li. Cor Inc., Lincoln, Nebraska) de la siguiente forma: primero se medía la radiación arriba de la cubierta vegetal manteniendo el sensor horizontalmente, enseguida el sensor se colocaba sobre la superficie del suelo en posición diagonal procurando que los extremos del sensor coincidieran con el centro de cada hilera antes de tomar la lectura. Los valores del %LI se calcularon dividiendo la segunda lectura entre la primera.

RESULTADOS Y DISCUSION

Variación del Contenido de Agua en el Suelo

Los patrones de extracción de agua por el cultivo en cada tratamiento reflejan la actividad del sistema radical a través del perfil del suelo. En la Figura 1 se presenta el valor promedio del contenido de agua en el perfil total del suelo (de 0 a 300 cm), en cada experimento a diferentes DDE. En las Figuras 2a, b y c se muestra la variación del contenido de agua en cada capa del perfil en diferentes fechas de observación.

En la Figura 1 se puede observar que los riegos aplicados, repusieron el agua en el perfil del suelo excepto en el último riego, dado al tratamiento húmedo en el experimento de 1984.

El tratamiento húmedo se caracterizó por haberse mantenido en un alto nivel de humedad durante el periodo de estudio. En las Figuras 2a b y c se observa una disminución rápida después de aplicar el último riego, de tal manera que al finalizar el periodo de observación, prácticamente los tratamientos húmedo y seco tenían el mismo perfil de distribución del agua en el suelo. La disminución rápida en el tratamiento húmedo pudo ser atribuida, en parte, al alto

potencial del agua en el suelo, al alto nivel de radiación interceptada por la cobertura del cultivo y a la alta demanda evapotranspirativa.

En los tratamientos intermedio y seco, el sistema radical permaneció creciendo a medida que el contenido de agua en las capas

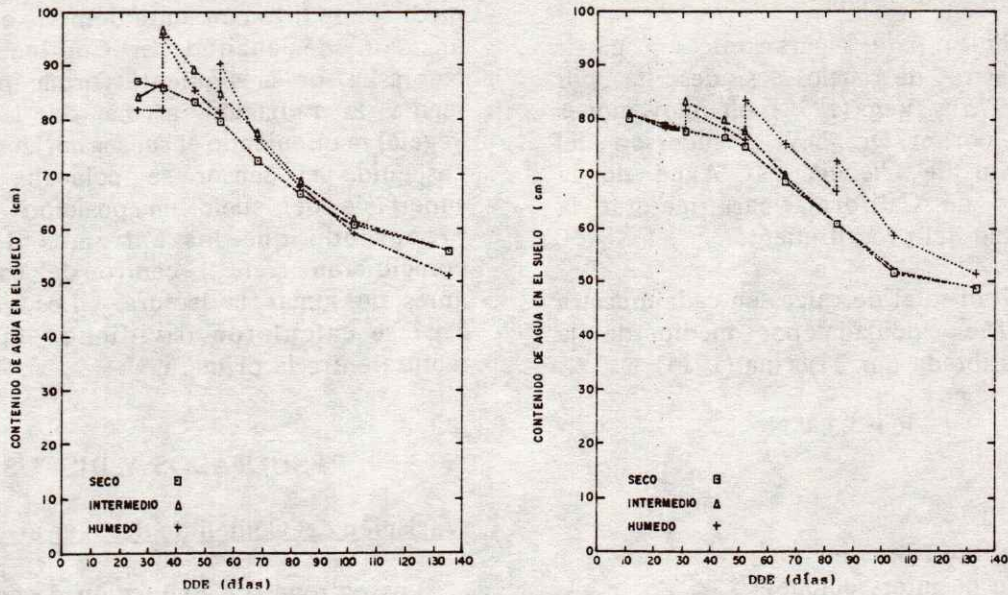


Figura 1. Promedio del contenido de agua en el perfil del suelo hasta 300 cm de profundidad a diferentes fechas durante el periodo experimental.

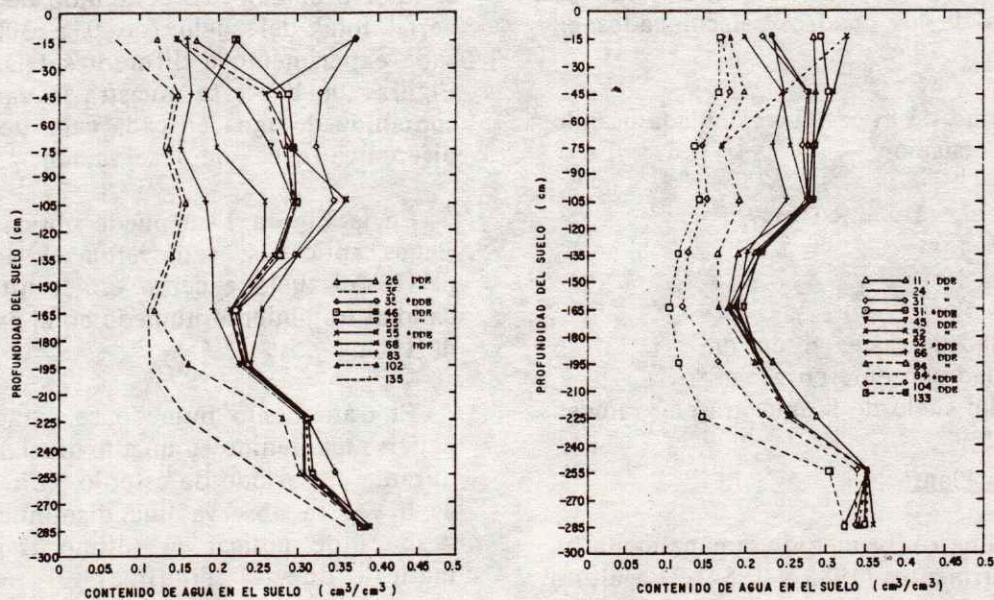


Figura 2a. Perfiles del contenido de agua en el suelo a cada 30 cm de profundidad a diferentes fechas después de emergencia para el tratamiento húmedo. Los números marcados con asterisco indican los valores del contenido de humedad en el suelo después de cada riego. Cada punto representa el promedio de seis medidas.

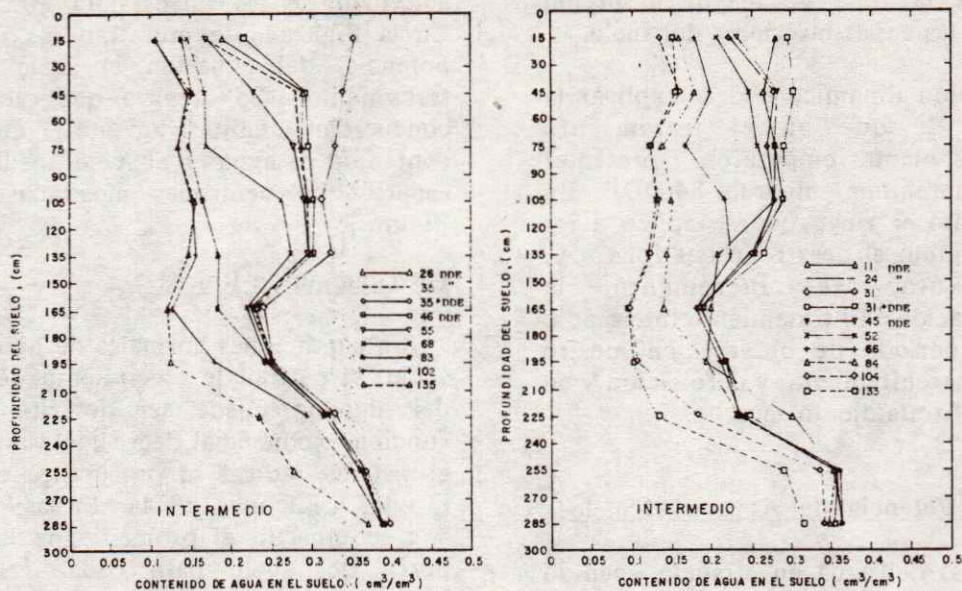


Figura 2b. Perfiles del contenido de agua en el suelo a cada 30 cm de profundidad en diferentes fechas después de emergencia para el tratamiento intermedio. Los números marcados con asterisco indican los valores estimados del contenido de humedad en el suelo después de cada riego. Cada punto representa el promedio de seis medidas.

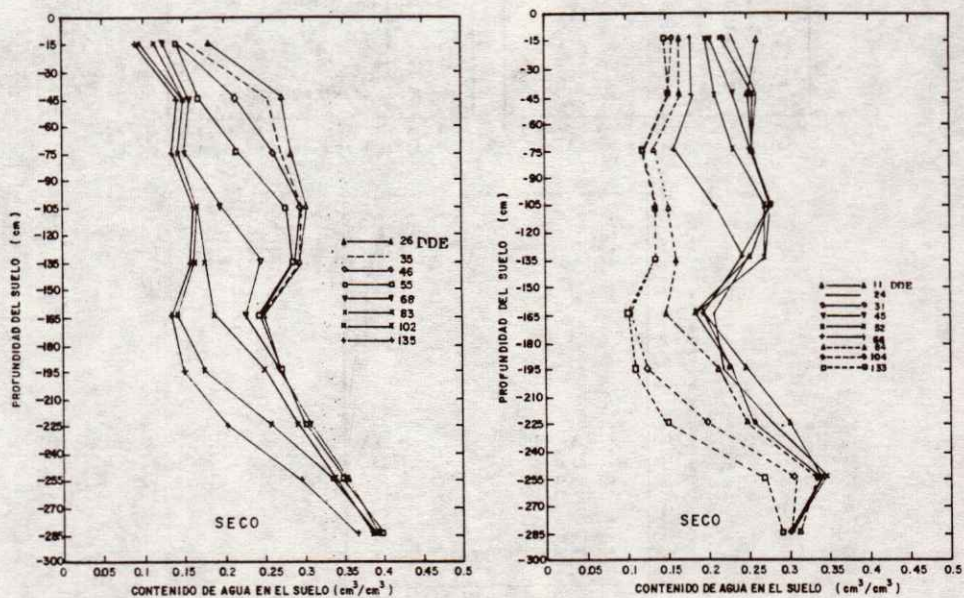


Figura 2c. Perfiles del contenido de agua en el suelo a cada 30 cm de profundidad en diferentes fechas después de emergencia para el tratamiento seco. Cada punto representa el promedio de seis medidas.

superiores del perfil disminuía, dando como resultado que la zona de mayor absorción cambió hacia las capas inferiores del suelo.

Esta situación dinámica podría explicar la observación de que en el tratamiento intermedio las plantas empezaron a presentar síntomas de marchitamiento a los 84 DDE. En este tratamiento el riego que se aplicó a los 31 DDE estimuló el desarrollo del follaje y, por lo tanto, se incrementó la evapotranspiración. El tratamiento intermedio al final del período de observación mostró síntomas de marchitamiento y defoliación y no las plantas del tratamiento seco.

Variación del Potencial del Agua en el Suelo

El potencial del agua en el suelo, medido en cada capa, disminuye a medida que baja el

contenido de agua del suelo, reflejándose la actividad de las raíces para absorber agua. En la Figura 3 se muestran los perfiles del potencial del agua en el suelo en cada tratamiento. Se observa que estas medidas concuerdan cualitativamente con las del contenido de agua en el suelo medido con el aspersor de neutrones mostradas en la Figura 2.

Distribución de Raíces

En condiciones normales de humedad en el suelo, el patrón de crecimiento de las raíces del algodón puede ser descrito como una función exponencial decreciente a medida que el sistema radical se profundiza en el suelo (Taylor y Klepper, 1971). En las Figuras 4a b y c se muestra el promedio de la L_v en el perfil del suelo para cada tratamiento a diferentes fechas.

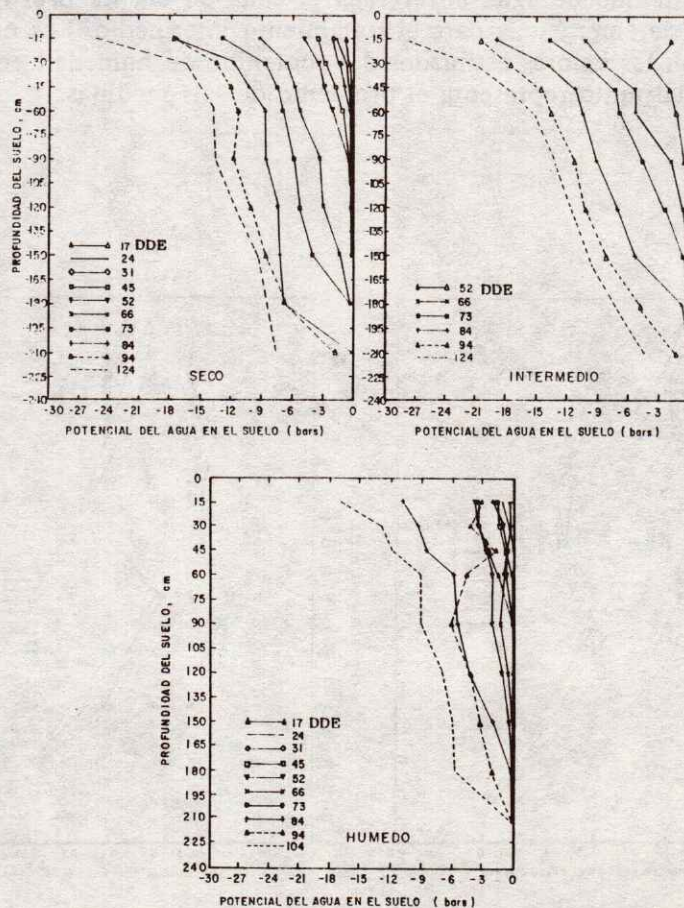


Figura 3. Perfiles del potencial de agua en el suelo para cada tratamiento durante el experimento de 1984. Cada punto representa el promedio de tres medidas.

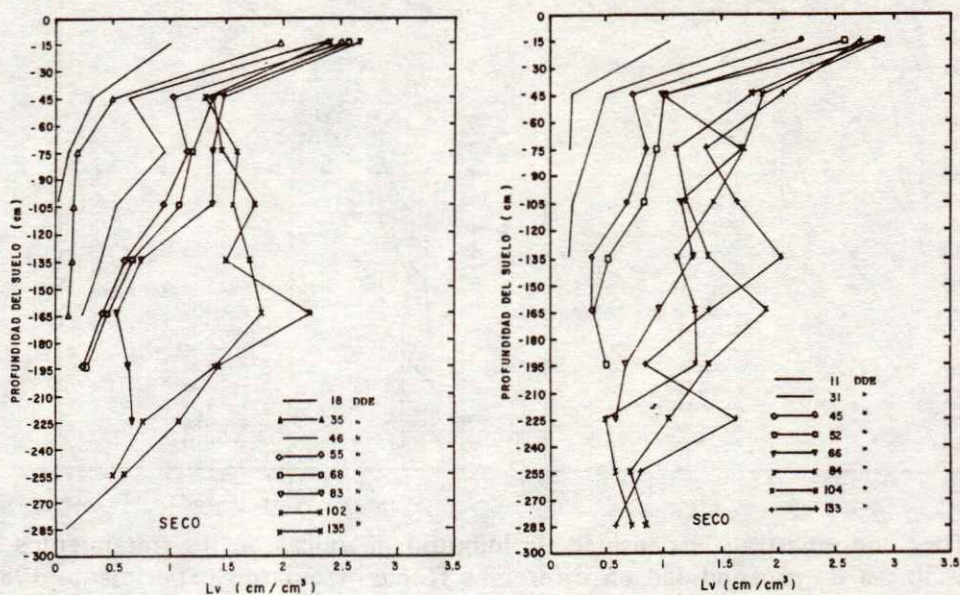


Figura 4a. Perfiles que muestran la densidad de longitud de raíces de los tratamientos secos a cada 30 cm de profundidad en diferentes fechas. Izquierdo experimento 1983, derecho experimento 1984.

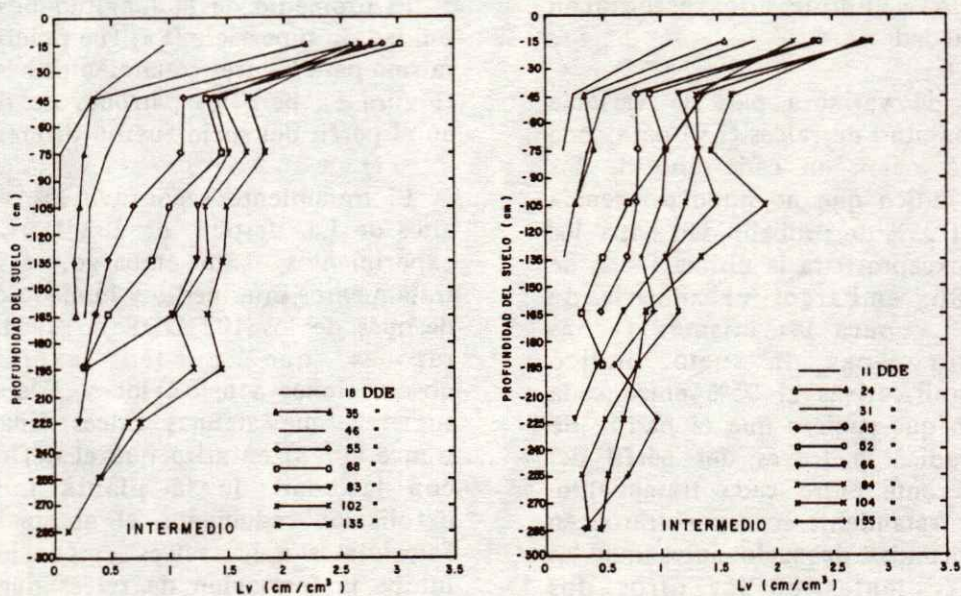


Figura 4b. Perfiles que muestran la densidad de longitud de raíces de los tratamientos intermedios a cada 30 cm de profundidad en diferentes fechas. Izquierdo experimento 1983, derecho experimento 1984.

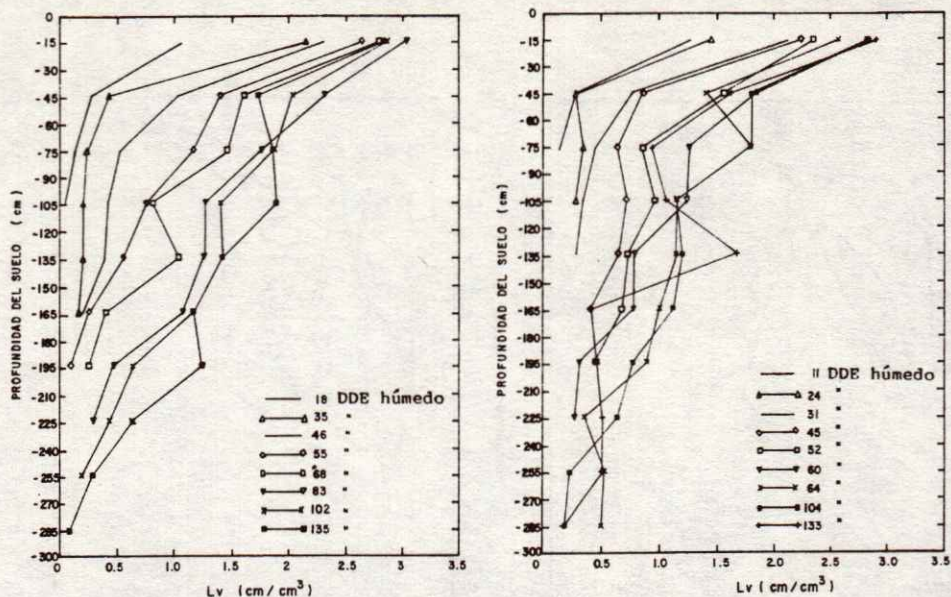


Figura 4c. Perfiles que muestran la densidad de longitud de raíces de los tratamientos húmedos a cada 30 cm de profundidad en diferentes fechas. Izquierdo experimento 1983, derecho experimento 1984.

El riego modifica el patrón de distribución de raíces y las observaciones obtenidas en este trabajo están de acuerdo con aquellas reportadas por Jordan (1983) y Taylor y Klepper (1975) aunque ellos estudiaron diferentes variedades.

El análisis de varianza para la variable densidad de longitud de raíces (L_v) para cada fecha de observación en cada uno de los experimentos indicó que no hubo diferencia significativa al 95% de probabilidad entre los tratamientos, excepto para la última fecha de muestreo. Sin embargo, el análisis de varianza de L_v para las mismas fechas analizadas por capas de suelo, indicó diferencias significativas al 95% entre cada tratamiento, lo que sugiere que el patrón de distribución radical a través del perfil del suelo fue diferente entre cada tratamiento. Las raíces del tratamiento seco penetraron en capas más profundas de suelo antes que las raíces de las plantas de los otros dos tratamientos lo hicieron. Sin embargo, puede verse que después de los 84 DDE las raíces del tratamiento intermedio y seco prácticamente tienen el mismo patrón de distribución dentro

del perfil del suelo, mientras que las raíces en el tratamiento húmedo se desarrollaron más en las capas superiores del suelo.

El promedio de la longitud de raíces por unidad de superficie (L_a) fue prácticamente el mismo para los tres tratamientos hasta 65 DDE (Figura 5), pero los patrones de distribución en el perfil del suelo fueron diferentes.

El tratamiento seco tuvo los valores más altos de L_a , después de 102 DDE en ambos experimentos. Sin embargo, la L_a de los tratamientos intermedio y húmedo decrecieron después de los 102 DDE en 1984. Algunas razones que pueden explicar estas observaciones son: Taylor y Klepper (1974) sugieren que algunas raíces finas mueren, Bunce (1978) enfatiza que el déficit de agua con la edad de la planta induce a la defoliación reduciendo el abastecimiento de fotosintatos a las raíces y, por lo tanto, se inhibe la formación de raíces nuevas. Otra posibilidad podría ser, que antes que se iniciara la defoliación en las plantas no adaptadas a déficit de agua en el suelo, como aquellas del tratamiento intermedio, las hojas

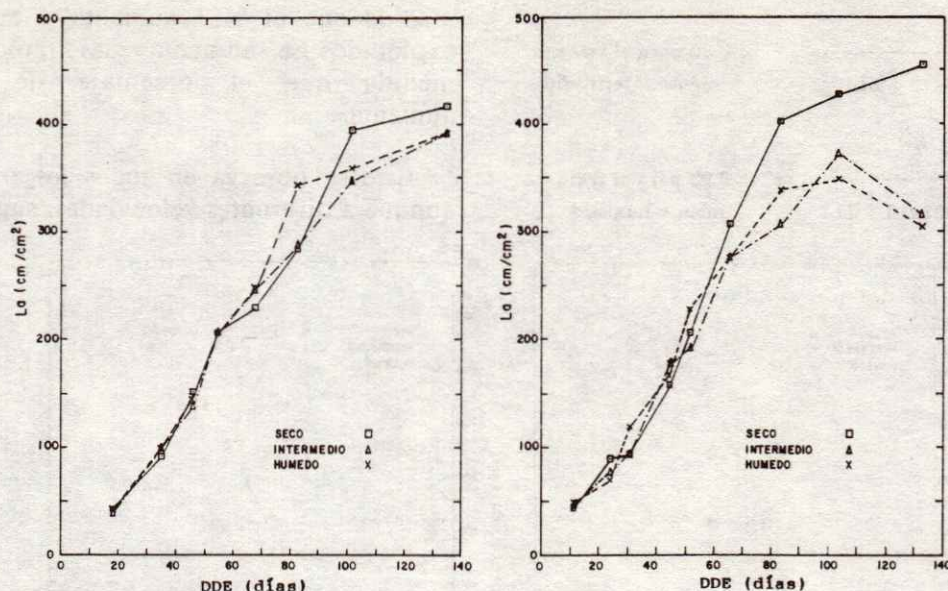


Figura 5. Tendencia de la densidad de longitud de raíces por unidad de superficie de suelo de cada tratamiento. Izquierdo experimento 1983, derecho experimento 1984.

no tuvieron oportunidad de ajustarse osmóticamente, debido a la rapidez con que se desarrolló el déficit hídrico. En consecuencia, puede ocurrir un cierre de estomas parcial para evitar pérdida de agua, pero a la vez la asimilación decreció lo que limitó el abastecimiento de asimilados a la raíz, disminuyendo la capacidad de formación de raíces nuevas en las capas de suelo más profundas. Bajo estas circunstancias, la absorción de agua es insuficiente para satisfacer la demanda evapotranspirativa y las plantas empezaron a mostrar marchitamiento.

Altura de la Planta y Longitud de Raíces

En condiciones de campo, la elongación del tallo del algodón es estimulada cuando el potencial del agua en el suelo es alto en la zona radical. El crecimiento de la raíz es rápido cuando la humedad del suelo es adecuada pero no excesiva, cuando las capas de suelo no están compactadas y cuando los otros factores del suelo están a un nivel óptimo (Grimes y Contrell, 1980; Grimes *et al.*, 1978; Grimes y El-Zik, 1982).

La Figura 6 muestra la relación entre la altura de la planta (PH) con respecto a la

densidad de raíces por unidad de superficie (La) para cada tratamiento en los dos años de estudio. El cambio de pendiente en las curvas correspondientes a los tratamientos intermedio y seco demuestra que el crecimiento de la raíz se mantiene a costo de una disminución del crecimiento del tallo y de la parte aérea en general.

Porcentaje de Luz Interceptada y Longitud de Raíces

La diferencia en el porcentaje de luz interceptada (%LI) en cada fecha de observación para cada tratamiento refleja el efecto del riego. En la Figura 7 se muestran las gráficas que representan la tendencia de %LI en ambos experimentos. El tratamiento húmedo alcanzó el 100% de luz interceptada aproximadamente a los 70 DDE en 1984; mientras que el tratamiento seco alcanzó alrededor de 65% después de 90 DDE. La densidad de raíces por unidad de superficie (La) y el %LI fueron relacionados usando la técnica de regresión, obteniéndose las siguientes ecuaciones:

$$La = \frac{1}{0.0105 - 1.16 \times 10^{-4} \%LI} \quad r^2 = 0.94 \text{ para el tratamiento seco}$$

$$La = \frac{1}{0.0100 - 7.56 \times 10^{-5} \%LI} \quad r^2 = 0.80 \text{ para el tratamiento intermedio}$$

$$La = \frac{1}{0.0087 - 5.6933 \times 10^{-5} \%LI} \quad r^2 = 0.93 \text{ para el tratamiento húmedo}$$

Las curvas indican que La se incrementa a medida que el %LI aumenta y en el rango explorado La aumenta más rápidamente a medida que el porcentaje de cobertura aumenta.

Esto se observa en todos los tratamientos aunque a diferentes velocidades, sugiriéndonos

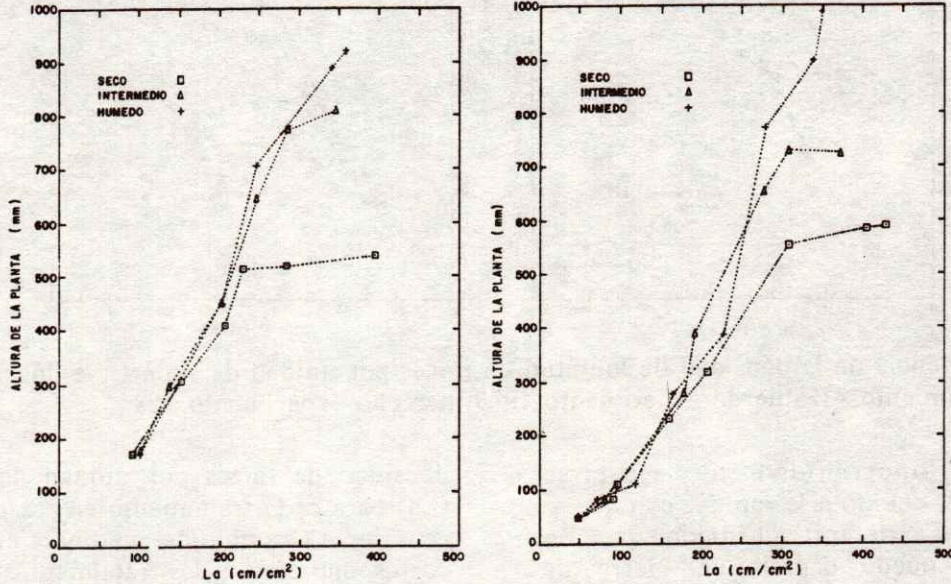


Figura 6. Relación entre la altura de la planta y la densidad de longitud de raíces por unidad de superficie para cada tratamiento. Izquierdo experimento 1983, derecho experimento 1984.

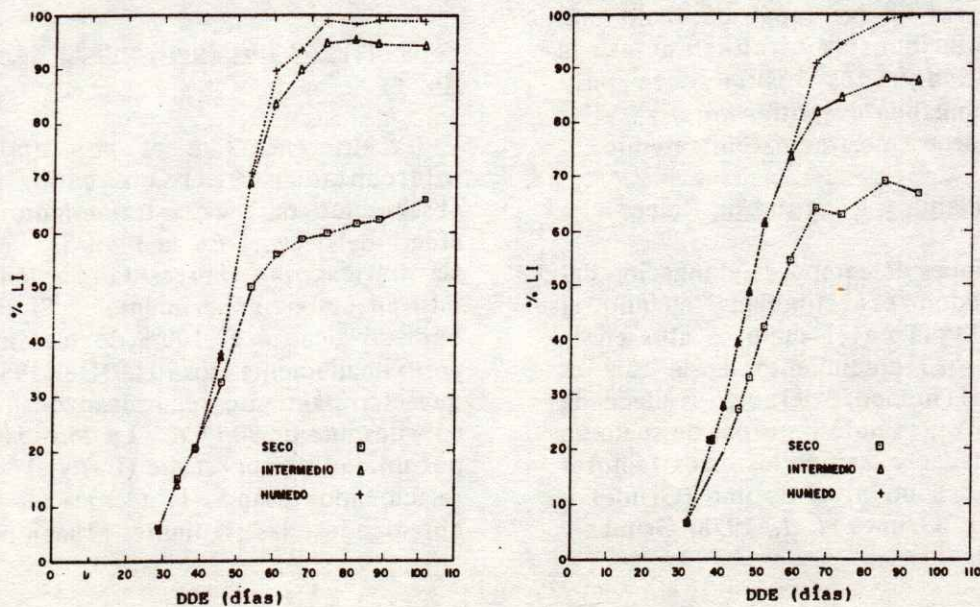


Figura 7. Comparación entre el porcentaje de luz interceptada entre cada tratamiento a diferentes días después de emergencia. Izquierdo experimento 1983, derecho experimento 1984.

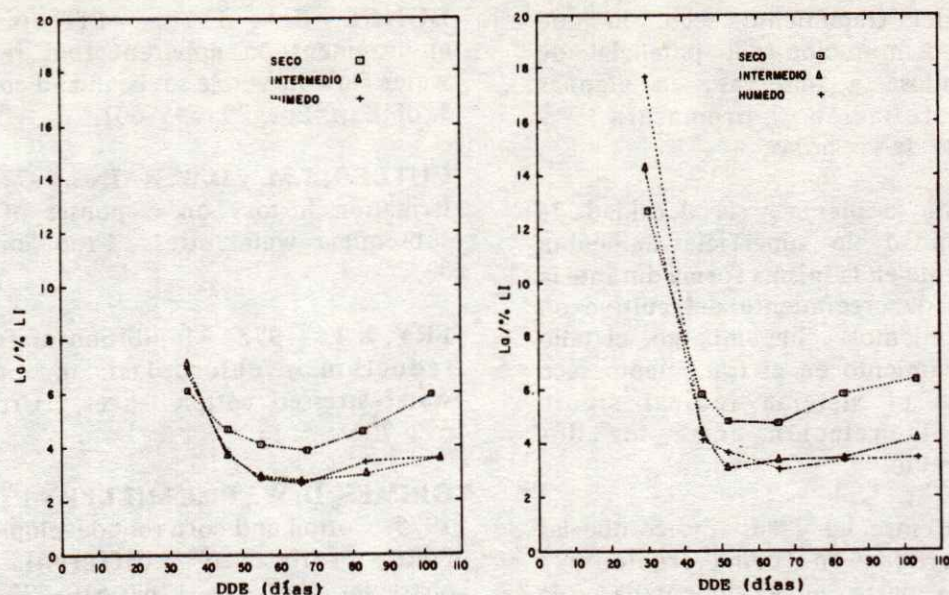


Figura 8. Tendencia de la relación $La/\%LI$ de cada tratamiento a medida que el ciclo del cultivo avanza. Izquierdo experimento 1983, derecho experimento 1984.

que la raíz profundiza y se extiende a una velocidad creciente a medida que el follaje crece.

La relación $La/\%LI$ a diferentes DDE es presentada en la Figura 8 para cada tratamiento. $La/\%LI$ decrece hasta aproximadamente los 50 DDE; después permanece casi constante por el resto del período de observación. Esta gráfica nos indica que el sistema radical al inicio de la estación crece proporcionalmente más rápidamente que la parte aérea, y posteriormente hay un equilibrio entre el crecimiento de los dos órganos manteniéndose aproximadamente la proporción.

Esta relación adquiere significancia cuando es relacionada con la evapotranspiración. Se observa que la relación $La/\%LI$ después de 50 DDE permaneció casi constante durante el período de mayor crecimiento del follaje en todos los tratamientos, indicando que cuando el sistema radical básico es establecido la evapotranspiración depende principalmente de los factores suelo y clima.

CONCLUSIONES

En el tratamiento seco, a pesar que el régimen de humedad afectó severamente el crecimiento de la parte aérea, el crecimiento del sistema radical se mantuvo al mismo nivel que en el tratamiento húmedo hasta los 64 DDE. Posteriormente, el crecimiento radical del tratamiento seco fue mayor que en los otros dos tratamientos hasta el final del período de observación.

Las observaciones demuestran que el crecimiento del sistema radical en el tratamiento seco fue principalmente en las capas inferiores del suelo, resultando un patrón de crecimiento radical diferente al que se obtuvo en el tratamiento intermedio. Se observa que la suspensión del riego después de los 31 DDE en este tratamiento afectó más al crecimiento de la parte aérea que al crecimiento del sistema radical. En virtud de este riego, las plantas incrementaron la parte aérea en tal magnitud que sus requerimientos de agua para abastecer la demanda evapotranspirativa hicieron que se agotara el agua del perfil del suelo a una tasa mayor que

en el caso del tratamiento seco, lo que provocó una disminución del potencial de presión llegándose a observar, en algunas plantas, defoliación prematura y marchitamiento de las hojas.

La altura de la planta y la densidad de raíces por unidad de superficie aumentan aproximadamente en la misma forma durante la primera etapa de crecimiento del cultivo en todos los tratamientos. Sin embargo, el tallo detuvo su crecimiento en el tratamiento seco en tanto que el sistema radical siguió creciendo y la relación entre los dos parámetros cambió.

La relación entre La y %LI indicó que las raíces proliferaban en forma creciente a medida que la parte aérea aumentaba y la relación LA/%LI permanecía aproximadamente constante después de 50 DDE. Esto indica que llega un momento en el ciclo de desarrollo del cultivo en el que se mantiene la proporción de crecimiento de la parte aérea y del sistema radical y es dependiente del régimen de humedad a que esté sometido el cultivo. De la interrelación de estos dos parámetros se pueden derivar recomendaciones para el manejo de este cultivo dependiendo de la variedad tanto en lo que concierne al régimen de humedad del suelo como a su espaciamento entre surcos y plantas.

LITERATURA CITADA

- ACEVEDO, E. 1975. The growth of maize *Zea mays* L. under field conditions as affected by its water relations. Ph. D. diss. University of Carolina, Davis (available from University microfilms, P. O. Box 1346. Ann Arbor, Michigan 48106 USA).
- AUNG, L.H. 1974. Root shoot relationships. *In: The plant root and its environment*. E. W. Carson (ed). University Press Virginia, Charlottesville. pp. 29-62.
- BROUWER, R. 1962. Distribution of dry matter in the plant. *Neth. J. Agr. Sci.* 10: 361-376.
- BUNCE, J.A. 1978. Effects of shoot environment on apparent root resistance to water flow in whole soybean and cotton plants. *J. of Exp. Bot.* 29: 595-601.
- CUTLER, J.M. y D.W. RAINS. 1977. Effects of irrigation history on responses of cotton to subsequent water stress. *Crop Sci.* 17: 329-335.
- FRY, K.E. (1972). Inhibition of ferricyanide reduction in chloroplasts, prepared from water-stressed cotton leaves. *Crop Sci.* 12: 692-701.
- GRIMES, D. W., R. J. MILLER y P. L. WILEY. 1975. Cotton and corn root development in two field soils of different strength characteristics. *Agr. J.* 67: 519-522.
- GRIMES, D.W., W.L. DICKENS, y H. YAMADA. 1978. Early season water management for cotton. *Agr. J.* 70: 1009-1012.
- GRIMES, D. W. y R. CONTRELL. 1980. Water measurements for efficient irrigation scheduling. Summary Proceeding Western Cotton Production Conference. Southwest Fire-State Cotton Growers Association and Cooperative Extension Service of Texas, New Mexico, Arizona, California.
- GRIMES, D.W. y K.M. EL-ZIK. 1982. Water management for cotton. University of Carolina. Bull. No. 1904. 17p.
- JORDAN, W.R. 1983. Whole plant response to water deficits. An overview. *In: H.M. Taylor, W.R. Jordan, y T.R. Sinclair (eds). Limitations to efficient water use in crop production.* Am. Soc. Agon., Madison, Wisconsin. p 289-318.
- McARTHUR, J.A., K.D. HESKETH y D.N. BARKER. 1975. Cotton. *In: L. T. Evans (ed). Crop Physiology.* Cambridge Univ. Press. pp. 297-325.
- NEWMAN, E.I. 1966. A method of estimating the total length of root in a sample. *J. Appl. Ecol.* 3: 139-145.

OLIVEIRA, E.C. 1982. Growth and adaptation of cotton in the field under water deficit conditions. Ph. D. diss. University California, Davis. 172 p.

RADULOVICH, R. 1984. Reproductive behavior and water relations of cotton. Ph. D. diss. University of California, Davis.

STANHILL, G. 1976. Cotton. *In: Vegetation and the atmosphere.* J.L. Monteith (ed). London. 2: 121-150.

STREET, H.E. 1959. Special problems raised by organ and tissue culture. Correlations between organs of higher plants as a consequence of specific metabolic requirements. *In: Enc. Plant Physiol.* W. Ruhland (ed). 11: 153-178.

TAYLOR, H.M. 1983. Managing root systems for efficient water use. An overview. *In: Limitations to efficient water use in crop production.* H.M. Taylor, W.R. Jordan, y T.R. Sinclair (ed). Am. Soc. Agron., Madison, Wisconsin. pp. 87-109.

TAYLOR, H.M. y B. KLEPPER. 1971. Water uptake by cotton roots during an irrigation cycle. *Aust. J. Biol. Sci.* 24: 853-859.

TAYLOR, H.M. y B. KLEPPER. 1974. Water relations of cotton root growth and water use as related to top and soil water content. *Agr. J.* 66: 584-588.

TAYLOR, H.M. y B. KLEPPER. 1975. Water uptake by cotton root systems. An examination of assumptions in the single root model. *Soil Sci.* 120: 57-67.

TIJERINA CH., L. 1985. Cotton root-shoot relationships under different soil water regimes. Ph. D. diss. University of California, Davis.

VEGA, J.D. 1972. Comparative dynamics of root growth and subsoil water availability in unirrigated corn and sorghum. Ph. D. diss. University of California, Davis.

**EFFECTO DE PLATAFORMAS ELEVADAS (PLANCHES) EN LA PRODUCCION DE
MAIZ DE TEMPORAL EN VERTISOLES TIPICOS Y GLEICOS DEL
ESTADO DE QUINTANA ROO, MEXICO**

Effect of Raised Beds on Maize Yield growing in Typic Vertisols and
Gleyic Vertisols in Quintana Roo, Mexico

Jorge H. Ramírez-Silva y Octavio Pérez-Zamora

INIFAP-Q.Roo. Apartado Postal 250, 77000 Chetumal, Q.Roo.

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

Palabras clave: Modelado del suelo, Camas elevadas, Variabilidad.

Index words: Soil surface modeling, Planting beds, Variability.

RESUMEN

La variación en las características del suelo es un factor importante sobre el rendimiento de maíz de temporal en Quintana Roo. En el presente trabajo se observó el efecto de los contenidos y la distribución de humedad en el perfil del suelo sobre el rendimiento de maíz H-507, desarrollando en plataformas elevadas de suelos denominadas localmente "planchés". Los suelos en estudio fueron Vertisoles gleicos y Vertisoles típicos. Las plataformas elevadas acomodaron de 23 a 24 hileras de maíz e involucraron la excavación y remoción de tierra para formar bordos de 100 m de largo, 20 m de ancho y 0.80 m de corona.

Los rendimientos obtenidos de grano de maíz (12% humedad) mostraron gran variación entre suelos y dentro de un mismo suelo; esto último dependió de la ubicación de las plantas, en lomo o talud de la plataforma. El rendimiento

de maíz en Vertisoles típicos fue de 2.89 ton ha⁻¹ y en Vertisoles gleicos fue de 1.80 ton ha⁻¹. Las diferencias entre suelos se relacionaron con los índices de productividad de dichos suelos; los Vertisoles típicos tienen un índice de productividad del 68%, mientras que en los Vertisoles gleicos es de 38%. Las diferencias en rendimiento dentro de un mismo suelo se relacionaron con el gradiente hidromórfico de la corona y talud; en el talud los rendimientos fueron 20% (3.16 ton ha⁻¹) y 74% (2.25 ton ha⁻¹) más que los obtenidos en la corona 2.62 ton ha⁻¹ y 1.29 ton ha⁻¹, para Vertisoles típicos y gleicos, respectivamente; ésto se atribuyó a mayor disponibilidad de humedad en el talud que en la corona.

SUMMARY

Maize yield as related to variability of soil is a key factor in the state of Quintana Roo, Mexico. Soil moisture and its relation to yields of maize (hybrid H-507) growing in Vertisols and Vertic Gleysoils were studied. Soil beds of 100 m long, 20 m wide and 0.8 m high were built in order to drive water excess out of the system. The original soil is flat, with a 0.6% slope and local waterlogging affects plant growth. The raised beds were made to fit 23-24 maize rows. As expected soil modification had implications for water

and fertility variation as well as distribution.

Findings showed variation both among and within soils; the latter was related to plant position on the structure, crown or slope. Yield differences among soils were highly related with its soil productivity index. In this way Typic Vertisols are 60% more productive than Gleyic Vertisols. Yields were related with soil moisture distribution and soil fertility differences observed for both soils. On the other hand, differences within the same soil were highly related with plant position on the structure of soil bed. In this way, plants located on slopes were more productive and reached the reproductive stage earlier than plants located on the top of the bed or crown. Yields observed on slopes were 20% higher than on the crown of Typic Vertisols; the same trend was observed for Gleyic Vertisols. This effect was associated with better soil moisture on the side slopes.

INTRODUCCION

El crecimiento de las plantas está afectado en los trópicos por varios factores, entre ellos una gran variación en el suelo a distancias cortas (Palaniappan, 1984). A esto se le denomina como microvariabilidad del suelo, la cual en combinación con otros factores responsables de la macrovariabilidad puede tener efecto sobre el rendimiento de los cultivos; por lo que es común observar, aún en áreas de cultivo relativamente pequeñas (2-3 ha), diferencias en rendimiento.

El problema es más acentuado en la agricultura de temporal que en la de riego; la situación anterior se agrava al efectuar movimientos de tierra para modificar la superficie del suelo, lo cual en ocasiones causa modificación en el gradiente topográfico, profundidad radicular, agua almacenada y contenido de nutrimentos. Esta situación refleja la necesidad de tomar en consideración los cambios que conlleva la construcción de infraestructura hidroagrícola

requerida para acondicionar los suelos arcillosos (Pérez, 1983).

En Quintana Roo, al acondicionamiento del suelo utilizado, con el propósito de cultivar granos básicos y oleaginosas en suelos arcillosos se les denomina "planchés". Esta configuración consiste en la construcción de camas elevadas sobre superficies planas, de longitud de 100 m o más, 20 m de ancho, y una corona de 0.8 m de alto, las cuales se construyen en suelos inundables (Ramírez y Pérez, 1987).

La información del configurado de suelos Vertisoles sobre comportamiento agronómico de los cultivos no es abundante (Pérez, 1983; Ramírez y Pérez, 1987). Los suelos en los que se han efectuado trabajos de esta naturaleza son Vertisoles típicos y gleicos, los cuales se encuentran en asociación dentro del paisaje de superficies planas e inundables de Quintana Roo. Los Vertisoles típicos se caracterizan por poseer permeabilidad moderadamente lenta (Graniel y Nájera, 1986) y presentar condiciones un poco más favorables para el desarrollo y crecimiento de los cultivos que los Vertisoles gleicos (Pérez, 1983).

En lengua maya a los Vertisoles típicos se les denomina Yaax'Hom - Ak'alché, (López, 1985; Pérez, 1983). En la región a esta clase de suelos se le considera como transicionales entre K'ankab (Luvisoles crómicos) y Ak'alchés gris (Vertisoles gleicos). La hipótesis del estudio es que los Vertisoles típicos están mejor acondicionados para producir mayor y mejores rendimientos que los Vertisoles gleicos. El objetivo del estudio es identificar el efecto de la microvariabilidad de la configuración sobre el rendimiento de maíz de temporal.

MATERIALES Y METODOS

El estudio se condujo durante el ciclo agrícola primavera-verano de 1985, en el Campo Agrícola Experimental Chetumal, Q.Roo; Municipio de Othón P. Blanco, ubicado entre 18° y 19° latitud norte y 88° y 89° longitud

oeste; el clima del área es AW₂. El ciclo agrícola de 1985 (junio a octubre) se caracterizó por presentar una precipitación pluvial de 464 mm, lo cual contrastó con la precipitación normal (media de 20 años) esperada de 732 mm (CAECHET, 1985), en consecuencia, la precipitación para el período de junio a octubre de 1985 fue sólo 63% de la precipitación normal; por lo tanto, era de esperar que el cultivo fuera afectado por períodos de sequía durante su desarrollo.

La modificación de la superficie del suelo estudiado se denomina "planchés" y consiste en la construcción de plataformas elevadas sobre la superficie (Figura 1); se caracteriza por tener pendiente transversal del 12%, longitud y ancho de 100 m y 20 m, respectivamente. Esta clase de estructura, así como las características del suelo han sido ampliamente descritas por Ramírez y Pérez (1987).

En Quintana Roo, es común observar dos clases de suelos, las cuales se encuentran asociadas con el paisaje, Vertisoles gleicos y Vertisoles típicos (CAECHET, 1985), denominados en lengua maya Ak'alché y Yaax'Hom-Ak'alché, respectivamente. Graniel y Nájera (1986) clasifican estos suelos como Vertisoles pélicos. Pérez (1983) ha relacionado la diferenciación señalada por la nomenclatura maya con Pelludert típicos (Vertisoles pélicos) y con Haplaquept vérticos (Gleysoles vérticos), los cuales se correlacionan con Ak'alchés y Yaax'Hom-Ak'alché, respectivamente.

En ambos suelos se construyeron cuatro "planchés" de las dimensiones indicadas con

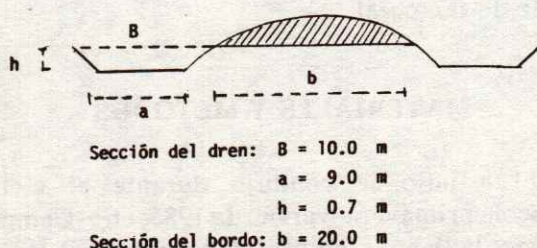


Figura 1. Forma y dimensiones de los planchés utilizados en el estudio.

antelación; considerándose cada una como repetición. Las variaciones semanales en el contenido de humedad a las profundidades 0-15 y 15-30 cm, en cada una de las repeticiones, tanto en corona como talud, se estimaron por el método gravimétrico (Tamahane *et al.*, 1985).

Durante el período de mayo, junio, julio y agosto, se registraron a intervalos semanales los perfiles de humedad de la corona, a las profundidades de 0-15, 15-30, 30-45, 45-60, 60-75, 75-90 y 90-105 centímetros.

La superficie de cada uno de los planchés fue de 2000 m², donde se acomodó 21 surcos; de éstos siete correspondieron a la corona o surcos centrales y 14 a los costados o talud de los planchés (siete de cada lado); se utilizó arado de tracción animal para la apertura de surcos. El material de maíz utilizado fue el híbrido H-507, el cual se sembró el 17 de mayo a tapapié a tierra venida; la distancia entre hileras fue 0.90 m y 0.5 m entre plantas; se dejaron dos plantas por mata; la población final fue de 44,000 plantas ha⁻¹. El control de hierbas, fertilización, labores de cultivo, control de plagas se efectuaron siguiendo las recomendaciones contenidas en la Guía para la Asistencia Técnica del CAECHET (1984). La única plaga de consideración observada durante el desarrollo del cultivo fue el gusano cogollero (*Spodoptera frugiperda*), el cual se controló oportuna- y adecuadamente mediante la aplicación de Lorsban 480 E.

A los 90 días después de la emergencia se registró el porcentaje de plantas que se encontraba en estado vegetativo y reproductivo en la corona y talud. También se estimó el efecto de la sequía del ciclo P-V de 1985 sobre el comportamiento fenológico del híbrido H-507; este muestreo se realizó al inicio de la etapa reproductiva. Además, se efectuó el análisis de regresión lineal simple entre rendimiento de grano (ton ha⁻¹) y porcentaje de humedad observado durante la semana más seca del ciclo del cultivo.

Desafortunadamente, el estudio en cuestión sólo se efectuó durante el ciclo de primavera-

verano de 1985; la razón de esto fue debido a las restricciones presupuestales de la institución (INIFAP).

RESULTADOS Y DISCUSION

El movimiento de tierras en volúmenes y cantidades requeridas para la construcción de estructuras hidroagrícolas como los planchés, involucra cambios de posición horizontal y vertical del suelo; esto conlleva mezcla, deposición y sobreposición de suelo-subsuelo (inversión de horizontes). Por supuesto es de esperar que esto ocasione variación en los niveles de humedad y fertilidad de la nueva estructura o configuración. Además, es común observar y encontrar en el paisaje de Quintana Roo a series y asociaciones de suelos contrastantes, lo cual tiende a aumentar la probabilidad de encontrar variación en las características del suelo. En Q.Roo, a distancias cortas (40 a 50 m), se observa asociación de suelos arcillosos Vertisoles gleicos y Vertisoles típicos con Luvisoles y Litosoles (Pérez, 1983, 1988; Graniel y Nájera, 1986). Esta variación no ha sido detectada en levantamientos de suelos efectuados en el área, lo cual puede deberse a la escala utilizada en el levantamiento (1:250,000).

Características Físicas y Químicas de los Suelos en Estudio.

En el Cuadro 1 se presentan algunas características físicas y químicas de los suelos Vertisoles pélicos y Vertisoles gleicos (FAO/UNESCO); estos últimos contienen 20% más de arcilla que los Vertisoles pélicos. Estas diferencias también han sido reportadas por campesinos mayas, quienes señalan que los Yaax'Hom-Ak'alché (Vertisoles pélicos) se caracterizan por tener permeabilidad moderada, en contraste con los Ak'alchés (Vertisoles gleicos), en los cuales la permeabilidad es lenta. En el Cuadro 1 se muestran los contenidos de materia orgánica, N total y Ca, Mg y K asimilable; en lo que respecta a K y Mg no existen grandes diferencias entre Vertisoles gleicos y típicos, sin embargo, en

Cuadro 1. Algunas características físicas y químicas seleccionadas de los suelos del estado de Q.Roo (Profundidad 0-30 cm).

Característica	Vertisol gleico	Vertisol típico
Arena (%)	16.0	23.0
Limo (%)	11.0	16.0
Arcilla (%)	73.0	61.0
MO (%)	2.52	5.16
N total (%)	0.12	0.25
Ca ²⁺ (meq 100 g ⁻¹)	23.80	47.00
Mg ²⁺ (meq 100 g ⁻¹)	5.00	5.00
K ⁺ (meq 100 g ⁻¹)	0.60	0.65

Fuente: Graniel y Nájera, 1986.

Vertisoles típicos el contenido de N total, MO, y Ca es 2.05, 2.08 y 1.94 veces mayor que en los Vertisoles gleicos.

Las diferencias en contenido de arcilla reportadas en el estudio de reconocimiento (Cuadro 1) son congruentes y consistentes con las observadas por campesinos mayas, así como con las observaciones de Pérez (1983); las observaciones de este investigador complementan las de Graniel y Nájera (1986) y las apreciaciones de los campesinos mayas. Sobre el particular Pérez (1983) describió y observó las diferencias en ambos suelos, además los clasificó taxonómicamente de acuerdo al Sistema de los EUA. Los Vertisoles pélicos que Pérez observó se caracterizan por poseer un índice de potencial de sitio del 68%, el suelo es algo pobremente drenado y los horizontes de campo son: Ap (0-23), A₁₂ (23-43) y A₁₃ (> 43 cm), los chromas son de 1.5 o menor a la profundidad de 0 a 30 cm; a este suelo Pérez (1983) lo clasificó como Pelludert típico. En contraste, el índice de productividad de los Ak'alchés fue inferior (30%) a los Pelludert típicos; los horizontes de campo de los Ak'alchés son Ap (0-18 cm), C_{1g} (18-75 cm), C_{2g} (75-150 cm); el perfil se caracterizó por poseer drenaje muy pobre, lo cual resultó congruente con la presencia del horizonte gleizado (C_{1g}) a la profundidad de

18 a 75 cm. A estos suelos Pérez (1983) los clasificó como Haplaquept vérticos. En este trabajo no se entrará en mayor detalle sobre el procedimiento de clasificación, ya que fue presentado previamente (Pérez, 1983).

Contenidos de Humedad del Suelo en Corona y Talud del Planché.

Los contenidos de humedad observados en la corona y talud de los planchés, a profundidades 0-15 y 15-30 cm se presentan en el Cuadro 2. Estos valores corresponden al promedio de las observaciones semanales efectuadas durante el ciclo de desarrollo del cultivo; cada valor semanal resultó de la estimación de cuatro repeticiones de muestreo. A la profundidad de 0-15 cm se observa que los suelos Vertisoles gleicos presentan mayor diferencia y contenido de humedad, entre la corona (41.07%) y el talud (53.04%), que los Vertisoles típicos (48.28 y 49.00%, respectivamente). A la profundidad de 15-30 cm en ambos suelos, como era de esperar, los contenidos de humedad en corona y talud siguieron una tendencia similar a la observada para la profundidad de 0-15 cm, sin embargo, también era de esperar que la exposición a la radiación solar de los horizontes superficiales indujera mayor evaporación que en los horizontes más profundos (Hillel, 1980). Por otra parte, al comparar las

Cuadro 2. Contenidos de humedad media durante el ciclo de cultivo del suelo en planchés. Ciclo de cultivo de maíz de primavera-verano 1985. CAECHET.

Suelo	Contenido de humedad			
	Profundidad		Profundidad	
	0-15 cm	15-30 cm	0-15 cm	15-30 cm
	Corona	Talud	Corona	Talud
	%	%	%	%
Vertisol gleico	41.07	53.04	42.11	55.19
Vertisol típico	48.28	49.00	47.28	52.21
\bar{X}	44.67	51.02	44.79	53.60

variaciones de humedad entre corona y talud de la profundidad (15-30 cm), se observó que en el Vertisol gleico las diferencias de humedad entre corona y talud fueron casi de la misma magnitud (13%) que para la primera profundidad 0-15 cm; en el Vertisol típico la diferencia entre corona (47.28%) y talud (52.21%) no fue significativa ($\Delta = 5\%$).

Para ambos suelos y profundidades el contenido de humedad fue mayor en el talud que en la corona; los valores en el talud fueron de 55.02% y 53% a las profundidades de 0-15 y 15-30 cm, respectivamente, en contraste con los valores de 44.67 y 44.79% registrados en la corona, a las profundidades de 0-15 y 15-30 cm, respectivamente. La tendencia antes indicada, mayor contenido de humedad en el talud que en la corona, tuvo diferente magnitud según la clase de suelo y profundidad. En Vertisoles gleicos a ambas profundidades, el contenido de humedad en el talud fue mayor que en los Vertisoles típicos; en el talud de Vertisoles gleicos se observaron contenidos de 53.0 y 55.19% (Cuadro 2), los cuales fueron mayores (49.00 y 52.21) que los registrados para Vertisoles típicos, a las profundidades de 0-15 y 15-30 cm, respectivamente. Lo anterior indica que en ambos suelos puede existir un factor determinante del cual dependen las fluctuaciones de humedad entre lomo y talud para el Vertisol gleico; esto contrasta con la escasa fluctuación observada para el Vertisol típico a la profundidad de 0-15 cm. El factor en cuestión puede estar relacionado con la infiltración de agua en el suelo (Tamahane *et al.*, 1985), así como con las características de permeabilidad y drenaje que poseen los suelos en estudio que han sido señalados por Pérez (1983).

Los datos globales o promedios antes presentados ayudan a explicar las diferencias que existen en el contenido de humedad entre suelos y posiciones dentro del planché, lomo o talud; sin embargo, son de poca utilidad para poder conocer o entender su efecto sobre el componente biológico (maíz). Por esta razón, los porcentajes de humedad del suelo a intervalos mensuales se muestran en la Figura 2. En ésta se observa que la distribución de

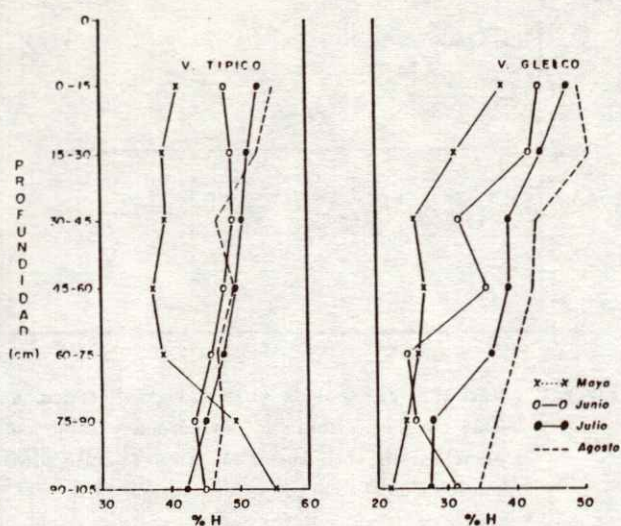


Figura 2. Porcentaje medio mensual de agua durante el periodo de mayo a agosto en un suelo Vertisol típico y Vertisol gleico con modelado de planchés. CAECHET P-V 1985.

humedad en el perfil del Vertisol típico es más uniforme que en el Vertisol gleico, lo cual podría atribuirse a un mayor contenido de materia orgánica en los primeros.

Otra explicación sobre la falta de uniformidad en el contenido de humedad podría atribuirse a la infiltración, ya que ésta disminuye en superficies compactas, en las cuales el impacto de la lluvia causa sellado y cierre de poros (Tamahane *et al.*, 1985). Bajo estas circunstancias es probable que se tenga un mayor escurrimiento en los Vertisoles gleicos que en los Vertisoles típicos; sobre este particular Ramírez y Pérez (1987) observaron encostramientos en la superficie de los Vertisoles gleicos, lo cual es de esperar que impida la infiltración del agua de lluvia. Abundando sobre esto, Chen *et al.* (1980), citados por Ruiz (1985), mencionan que la formación de costras se debe a la fragmentación de agregados del suelo debido al impacto de las gotas de lluvia sobre la superficie del suelo y que la destrucción de los agregados reduce el tamaño promedio de poros de la capa superficial, formándose una película delgada que sella la superficie y disminuye la infiltración. Hillel (1960) reconoce los efectos detrimentales del encostramiento sobre las propiedades agrícolas

del suelo y menciona que los efectos pueden ser directos e indirectos; los primeros impiden el crecimiento de plantas al obstruir mecánicamente la germinación y emergencia y pueden reducir el desarrollo de las raíces; los segundos, o efectos indirectos, se refieren a la disminución de la tasa de infiltración, aumento del escurrimiento y erosión y disminución de actividad microbiológica.

Teniendo en mente las consideraciones anteriores podemos explicarnos el porqué de los contenidos de humedad inferiores y superiores fueron más bajos (20 a 35%) en Vertisoles gleicos que en Vertisoles típicos (35 a 45%) a través del perfil y durante todo el ciclo de desarrollo del cultivo. También es de consignar que los menores porcentajes de humedad se registraron en el mes de mayo para ambos suelos, luego se incrementaron en junio, julio y agosto; siendo en estos dos últimos cuando se tuvo el mayor porcentaje. El cambio observado en la Figura 2, para el porcentaje de humedad en Vertisoles típicos durante el mes de mayo a la profundidad de 75 a 105 cm, puede explicarse por el crecimiento radical del maíz; o sea que después de esta profundidad el cultivo ya no extrajo agua y ésta se acumuló a dichas profundidades.

Producción de Maíz H-507.

Los rendimientos de maíz de grano obtenidos en ambos suelos se muestran en el Cuadro 3. Las diferencias observadas en rendimiento (1.80 y 2.89 ton ha⁻¹) se encuentran relacionadas con el potencial de sitio descrito por Pérez (1983), ya que este potencial es mayor (68%) en Vertisoles típicos que en los gleicos (30%). Con respecto a las diferencias observadas dentro de planché, éstas dependen de la ubicación sobre la estructura o planché, la cual puede asociar con la microvariación introducida al efectuar el movimiento de tierra. Esta circunstancia puede explicar las diferencias obtenidas en rendimiento, ya que aunque se hayan invertido los horizontes (mezclado el suelo), el efecto presenta una tendencia a atenuarse y a ser de menor consideración en suelos con mayor índice productivo que en suelos más pobres.

Cuadro 3. Rendimiento de maíz (12% humedad) en grano en Vertisoles gleicos y típicos. Q.Roo. 1985.

Suelo	Posición topográfica		
	Corona	Talud	\bar{X}
	----- ton ha ⁻¹ -----		
Vertisol gleico	1.29	2.25	1.80
Vertisol típico	2.62	3.16	2.89
\bar{X}	1.96	2.71	

Independientemente de la clase de suelo, los rendimientos (2.71 ton ha⁻¹) en el talud resultaron 38,26% mayores que en la corona (1.96 ton ha⁻¹). Por otra parte, considerando cada suelo en particular, los Vertisoles gleicos presentaron mayor variación en rendimiento para corona y talud (1.29 y 2.25 ton ha⁻¹); la variación fue del orden del 74.42%, mientras que para el Vertisol típico las diferencias entre talud y corona fueron solamente del 20.61% (2.62 y 3.16 ton ha⁻¹, respectivamente).

Es de esperar que las diferencias obtenidas en rendimiento se hayan reflejado también en la fenología del cultivo. De esta manera, a los 90 días después de la emergencia de las plantas, independientemente de la posición donde se ubicaron las plantas, lomo o talud, se observó que el 77.5% de las plantas del Vertisol típico se encontraba en la etapa reproductiva y el 22.5% restante en la fase vegetativa. En contraste, en la misma fecha, en el Vertisol gleico el 52.5% de las plantas se encontraba en la etapa vegetativa y sólo el 47.5% en la etapa reproductiva. Por otra parte, independientemente del tipo de suelo, el mayor porcentaje de plantas en estado reproductivo se observó en el talud, con 91.5% (8.75% en etapa vegetativa). En cambio, en la corona, este porcentaje fue más bajo (38.75%) en la fase reproductiva, mientras que el porcentaje de plantas en la fase vegetativa fue mayor (61.25%). Esto se reflejó con los rendimientos de maíz obtenidos en los suelos estudiados.

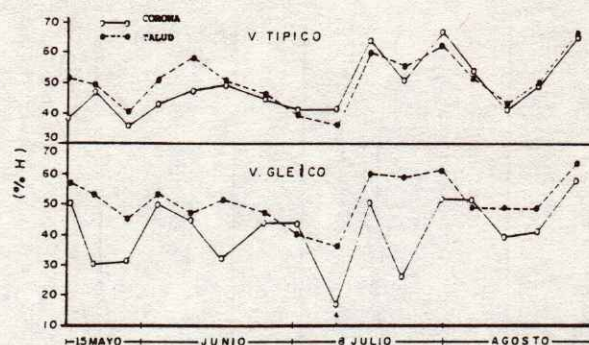


Figura 3. Variación semanal de humedad gravimétrica, a 0-15 cm de profundidad, en corona y talud de planchés en dos suelos Vertisoles cultivados con maíz en el ciclo primavera-verano 1985.

Los resultados obtenidos en producción de grano y porcentaje de plantas en estado vegetativo, se encuentran en gran medida relacionados con los contenidos de humedad semanal (Figura 3) que se registraron en cada uno de los suelos. Como puede observarse en la Figura 3, los porcentajes de humedad en la corona de Vertisoles gleicos fueron considerablemente más bajos que en el talud durante todo el ciclo de desarrollo del maíz, especialmente durante el mes de julio, lo cual es de esperar afecte el crecimiento de las plantas y manifieste su efecto sobre el porcentaje de plantas reproductivas y vegetativas que se consignó antes. En Vertisoles típicos los porcentajes de humedad resultaron mayores y más homogéneos que en Vertisoles gleicos. Considerando la importancia que el contenido de agua tiene sobre el rendimiento de los cultivos, se efectuó un análisis de regresión simple entre el rendimiento obtenido (Y_i) y el porcentaje medio de humedad (Cuadro 2) observado durante el ciclo de cultivo. Sin embargo, dadas las condiciones de sequía prevaletientes en este ciclo, también se consideró importante analizar la relación entre el rendimiento y los porcentajes medios de humedad registrados durante la semana más seca (8 de julio). En las Figuras 3 y 4 se muestran estos valores observados en corona y talud para ambos suelos estudiados; durante dicha semana en el Vertisol gleico los contenidos de humedad en la corona fueron 16.7% y 13.5% y en talud 36.5% y 40.32% para la profundidad 0-15 cm y

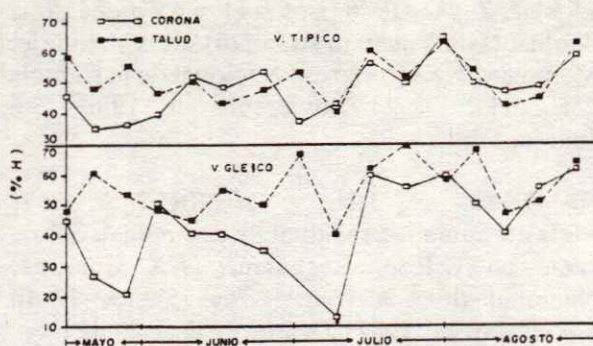


Figura 4. Variación semanal de humedad gravimétrica, a 15-30 cm de profundidad, en corona y talud de planchés en dos suelos Vertisoles cultivados con maíz en el ciclo primavera-verano 1985.

15-30 cm, respectivamente. Para el suelo Vertisol típico los contenidos de humedad, en esa semana seca, fueron más altos que en el Vertisol gleico, y resultaron del orden de 41.9% y 43.5% en la corona y de 36.17% y 42.5% en el talud, para las profundidades de 0-15 y 15-30 cm, respectivamente.

Los resultados del análisis de regresión simple mostraron que los rendimientos obtenidos son explicados mayormente por los contenidos de humedad observados en la semana más seca, con coeficientes de determinación (r^2) del orden de 0.68 y 0.81 para las profundidades de 0-15 y 15-30 cm, respectivamente. Como era de esperar, el porcentaje medio de humedad del ciclo no aportó gran cosa para explicar su influencia sobre los rendimientos y los coeficientes de determinación fueron sólo del 0.42. De esta forma, la ecuación de regresión de Y (rendimiento ton ha^{-1}) con respecto a X (% de humedad en semana seca) fue de

$$Y = 0.373 + 0.059 (X) \text{ y } Y = 0.59 + 0.049 (X)$$

para la profundidad de 0-15 y 15-30 cm, respectivamente.

CONCLUSIONES

1. Vertisoles típicos son más productivos que los Vertisoles gleicos. Esto se relaciona con el potencial de producción de sitio y con

la distribución de la humedad, tanto horizontal como vertical, a través de la estructura hidroagrícola construida (planchés).

2. El rendimiento de maíz en el Vertisol típico fue 60% mayor que en los Vertisoles gleicos.

3. En el talud de ambos suelos, Vertisoles gleicos y típicos, los rendimientos de maíz son mayores que en la corona del planché.

4. La relación entre porcentaje de plantas en estado reproductivo y vegetativo, a los 90 días de la emergencia, guardó relación con el tipo de suelo y con la posición de la planta de maíz en el planché.

5. En Vertisoles típicos y talud (independientemente del suelo), el porcentaje de plantas en estado reproductivo fue mayor que en Vertisoles gleicos y corona (independientemente del suelo), a los 90 días después de la emergencia.

6. En virtud de que sólo se obtuvo información para un ciclo, sería recomendable, en caso de que las condiciones económicas mejoren, el considerar continuar las observaciones en ciclos subsecuentes.

LITERATURA CITADA

CAECHET. 1984. Guía para la Asistencia Técnica Agrícola. Area de influencia del Campo Agrícola Experimental de Chetumal, Q.Roo. SARH-INIA-CIAPY.

CAECHET. 1985. Informe Técnico de Labores 1985 del Proyecto Suelos de Drenaje Lento (Vertisoles Gleycos) de Q.Roo. SARH-INIA-CIAPY.

GRANIEL CANUL, E. y J.L NAJERA PECH. 1986. Estudio agrológico semidetallado del proyecto Nachi-Cocom. Subdirección de Infraestructura Hidráulica. Residencia General de Estudios. Unidad Agrología. Q.Roo.

HILLEL, D. 1960. Crust formation in loessial soil. 7th. Int. Congress of Soil Sc. Bucharest, Romania. 53-62.

HILLEL, D. 1980. Fundamentals of soil physics. Academic Press Inc. New York, N.Y. USA. pp (228, 307-308).

LOPEZ MENESES, F. 1985. Información personal. Subdelegación de Infraestructura Hidráulica. Residencia General de Estudios. Unidad Agrología, Q.Roo.

PALANIAPPAN, S.P. 1984. Cropping systems in the tropics. Principles and management. Willey estern limited New Delhi 110002.

PEREZ Z., O. 1983. Sub-utilización de los suelos de drenaje lento (Vertisoles gleycos) del estado de Q.Roo. Proyecto de Investigación. Mimeo. SARH-INIFAP.

PEREZ Z., O. 1988. Los suelos Ak'alché de la Península de Yucatán, su importancia y manejo. Memorias XXI Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo. 8-11 noviembre de 1988. Cd. Juárez, Chih. p 23.

RAMIREZ S., J.H. y O. PEREZ Z. 1987. Maíz en humedad residual de dos modelados de suelo en Q.Roo. Resúmenes XX Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo. 11-14 noviembre de 1987. Zacatecas, Zac. p 121.

RUIZ FIGUEROA, J.F. 1985. Evaluación del efecto en la formación de costras superficiales de tres sistemas de labranza, un sistema de riego por aspersión y bagazo de la caña de azúcar en un suelo ferruginoso tropical de costa de mar. In: la. Reunión Nacional sobre Suelos Arcillosos y su Implicación en la Agricultura. Celaya, Gto. p. (69-91).

TAMAHANE, R.V., D.P. MOTIRAMANI y Y.P. BALI. 1985. Suelos, su química y fertilidad en zonas tropicales. Ed. Diana México, D.F. p. 57.

EVALUACION AGRONOMICA DE LOS EFLUENTES DE UN DIGESTOR ANAEROBIO¹⁾

Agronomic Evaluation of Residues from an Anaerobic Biodigestor.

Alejandro Galván Q. y Jorge D. Etchevers B.

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

Palabras clave: Residuos orgánicos, Abono orgánico, Biodigestión.

Index words: Organic residues, Organic manure, Biodigestion.

RESUMEN

El empleo de los residuos líquidos y sólidos efluente de la operación de digestores anaerobios como abono orgánico, ha recibido poca atención en México. En el presente trabajo se reportan resultados de una caracterización química de este material y de su efecto, solo o combinado, con fertilizante nitrogenado sobre trigo de invierno. Las muestras de efluentes caracterizadas provinieron del mismo digestor anaerobio y se obtuvieron con un intervalo de 37 días. Estas se analizaron en su estado natural y después

de secarlas a 70°C. El secado provocó pérdidas de material, particularmente de nitrógeno. Por sus características químicas el efluente analizado es comparable con algunos estiércoles que se emplean comúnmente como abono orgánico.

El efecto del efluente fresco sobre el trigo de invierno se evaluó en un experimento de campo. Se aplicaron niveles de 0, 10, 20 y 30 m³ ha⁻¹ del primero y se compararon con tratamientos con 0, 40, 80 y 120 kg N ha⁻¹ aplicados como fertilizante inorgánico.

La aplicación del efluente aumentó significativamente los rendimientos de grano y paja, en cambio, el fertilizante nitrogenado tuvo escaso efecto sobre éstos. Con la combinación de ambos (30 m³ ha⁻¹ y 120 kg ha⁻¹ N) se obtuvieron los más altos rendimientos de grano (1955 kg ha⁻¹). En contraste, el testigo sin ningún tratamiento sólo rindió 862 kg ha⁻¹. El número de granos por espiga y el peso de 1000 granos fueron los componentes de rendimiento responsables del aumento.

SUMMARY

Use of liquid and solid residues (effluent) from anaerobic biodigestors as manure has received little attention in Mexico. The present paper reports results of a chemical

1) Este trabajo fue realizado en el Laboratorio de Fertilidad de Suelos del Colegio de Postgraduados y constituye parte de la tesis con que el primer autor optó al título de Ingeniero Agrónomo en la Universidad Autónoma Chapingo.

characterization of this material and the effect of its application to a wheat crop.

The effluents were obtained from an anaerobic biodigestor. Fresh and oven-dried (70°C) samples were analyzed. Sample drying resulted in losses of some materials, mainly nitrogen. The chemical characteristics of the effluent were similar to those of cow manure.

Effluent levels of 0, 10, 20 and 30 m³ ha⁻¹ and fertilizer nitrogen (0, 40, 80 and 120 N ha⁻¹) were assayed in a wheat field experiment. The effluent treatments significantly increased grain and straw yield when applied alone. However, the application of nitrogen fertilizer alone had little effect on wheat yield. Highest grain yields (1955 kg ha⁻¹) were obtained when 30 m³ ha⁻¹ of effluent and 120 kg ha⁻¹ nitrogen fertilizer were applied together in one treatment. The control treatment without any addition yielded only 862 kg ha⁻¹. Number of grains per spike and weight of 1000 grains were the two most important components of yield responsible for the increase of grain yield.

INTRODUCCION

El incremento constante de la producción de materiales orgánicos de desecho contribuye a deteriorar el medio ambiente. Por ello urge contar con soluciones eficientes y económicamente factibles a este problema.

Una de esas alternativas es el empleo de biodigestores que generan gas metano, sedimentos y efluentes (bioabono) como subproductos de su operación. Estos biodigestores degradan anaeróbiamente los desechos animales y vegetales. Los efluentes y sedimentos contienen macro- y micronutrientes y materiales orgánicos que poseen valor como abono orgánico.

La información disponible sobre estos últimos productos para uso agrícola es escasa. El presente trabajo de investigación tiene como objetivos: (a) caracterizar químicamente el efluente líquido de un digestor, y (b) evaluar el efecto del efluente solo y

combinado con fertilizante nitrogenado sobre el comportamiento de un trigo de invierno.

REVISION DE LITERATURA

El valor del estiércol como recurso para mejorar la fertilidad y las propiedades físicas del suelo es muy conocido (Tisdale *et al.*, 1985), pero su uso tiene ciertos inconvenientes como: (a) el tener que esperar un tiempo después de su aplicación al suelo para que se mineralice; (b) presentar un peligro potencial para plantas y animales que entren en contacto con él por su capacidad de transmitir enfermedades; y (c) provocar desórdenes metabólicos en animales, por la acumulación de niveles tóxicos de nitratos en plantas forrajeras, cuando se hacen aplicaciones excesivas de este material al suelo (Stewart, 1982).

Con el fin de aminorar los problemas antes mencionados, se han planteado alternativas de solución para el manejo de los desechos orgánicos: (a) pretratar el material para la reducción de patógenos y olor; (b) incinerar el material para su descarga total; (c) transformar parcialmente, en forma aerobia o anaerobia, los desechos para su reuso total o de alguno de sus componentes. Esta última posibilidad es la que ha recibido mayor atención, por ser la más práctica y accesible para los agricultores y ganaderos y con la que se obtienen mayores beneficios (Weller y Willets, 1977).

Entre los métodos de transformación parcial de estos materiales se incluyen los tratamientos anaerobios, llamados de "digestión", que ocurren por la acción de bacterias presentes en el estiércol y que operan en ausencia de oxígeno. Estas bacterias deben su reacción potencial al área masiva de contacto con el medio y su muy corto tiempo de generación. Se alimentan de moléculas orgánicas complejas, las cuales digieren para la obtención de energía (Viniegra *et al.*, 1981; Weller y Willets, 1977). Dentro de estos tratamientos se encuentra el sistema de producción de biogas y

bioabonos, que se basa en la fermentación anaerobia de desechos orgánicos en depósitos cerrados herméticamente llamados "digestores". El método consiste en alimentar al digestor con materiales de desecho y agua, dejándolos fermentar por un tiempo determinado, lo cual permite que la materia orgánica sea descompuesta mediante acción bacteriana y bioquímica, procesos que ocurren simultánea- y gradualmente (Baquedano *et al.*, 1979; Verástegui, 1980).

Los digestores pueden ser de varios tipos (Saal, 1983) y requieren de características de operación bien definidas (Amaya, 1975).

El residuo de la digestión, llamado efluente o bioabono, está formado por sustancias originalmente presentes en la materia prima y masas de células bacteriales que las recubren (NAS, 1977).

Los cambios ocurridos durante la digestión mejoran el valor fertilizante del producto fermentado, ya que los nutrimentos que contiene son transformados a formas más aprovechables (Indrick, 1980). Tal es el caso del nitrógeno total. Al degradarse la materia orgánica disminuye el porcentaje de sólidos, sin afectar el contenido total de nitrógeno, por lo que su porcentaje en el efluente aumenta respecto del presente originalmente (Mandujano *et al.*, 1979). La concentración de nitrógeno en el residuo fermentado así como las de fósforo, potasio y microelementos, varían en función de la alimentación de los animales que proveen los desechos (Taiganides, 1977).

Los nutrientes contenidos en el efluente, dado el estado en que se encuentran, son fácilmente asimilados por las plantas, por lo que este material puede aplicarse en cualquier etapa de crecimiento. La aplicación del efluente puede, además, mejorar las condiciones físicas del suelo (ISF, 1980; Villarroel, 1983).

El efecto de los efluentes de digestores anaerobios sobre los cultivos no ha sido suficientemente estudiado en México. De las

pocas investigaciones formales realizadas resalta la efectuada por Gómez y Viniegra (1979). Estos autores no observaron diferencias significativas en el rendimiento de lechugas tratadas con estiércol fresco, efluentes de un digestor y fertilizante químico. No obstante, cuando se mezcló urea con el efluente (50 y 50% N) para alcanzar el nivel de 120 kg N ha⁻¹, el rendimiento fue similar al obtenido con 80 kg N ha⁻¹ de nitrógeno como urea.

Otros usos dados a los efluentes de los digestores son: servir como materia prima para producir compostas mezcladas con rastrojos, para fertilizar estanques de peces (contribuye a la formación del alimento de éstos) y como sustrato para el crecimiento de cultivos de altos rendimientos (Marchaim, 1983). El material digerido se ha utilizado también como alimento animal, por su alto contenido de proteína, obteniéndose buenos resultados (Mc Garry y Stainforth, 1978).

MATERIALES Y METODOS

En esta investigación se caracterizó químicamente y se evaluó agronómicamente en condiciones de campo el efluente de un digestor anaerobio. El efluente provino de un digestor semicontinuo horizontal tipo Xochicalli-Mexicano, operado por la Fundación de Eco-desarrollo Xochicalli, A.C. en Ozumba, Méx. Este sistema de fermentación se carga con estiércol de bovinos alimentados rústicamente (rastrojos y leguminosas). Los desechos se diluyen con agua hasta obtener un 10% de sólidos totales. El tiempo de retención hidráulica de este digestor es de aproximadamente 41 días y el de los sedimentos de 10 meses (J. Arias, 1984. Comunicación personal).

La caracterización química se efectuó en material colectado en dos fechas de muestreo (20 de diciembre 1982 y 27 de enero 1983). El efluente se analizó con su humedad original y seco a 70°C. Los análisis practicados fueron: humedad, sólidos volátiles y totales, pH, conductividad eléctrica, materia orgánica y

carbono, ácidos húmicos y fúlvicos, grupos carboxílicos y fenólicos, concentración de P, K, Ca y Mg totales, nitrógeno total e hidrolizable, N-NO_3^- y N-NH_4^+ . Además el efluente fue centrifugado y filtrado y en la fracción líquida se determinó K, Ca, Mg, Na y N-NH_4^+ .

La evaluación del efluente en el campo se realizó en Lomas de San Juan, Chapingo, México, empleando trigo como cultivo indicador (cv México M-82). La textura del suelo experimental fue migajón-arcillosa y los porcentajes de materia orgánica (1.1%) y de nitrógeno (0.07%) se consideraron bajos. Se empleó el diseño experimental de parcelas divididas en bloques al azar. El diseño de tratamientos fue un factorial. Las parcelas grandes fueron los tratamientos con 0, 40, 80 y 120 kg N ha⁻¹, aplicado como $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$, y las parcelas chicas los tratamientos con efluente de la digestión anaerobia, en volumen de 0, 10, 20 y 30 m³ ha⁻¹, lo cual representa 0, 14.5, 29 y 43.5 kg N ha⁻¹. Todas las parcelas recibieron una fertilización basal de 40 kg P₂O₅ ha⁻¹. Cada tratamiento se repitió cinco veces.

Las parcelas experimentales fueron de 2.8 m de ancho por 5.0 m de largo. En cada una de ellas se sembraron 14 hileras de trigo separados 20 cm. La densidad de siembra fue 110 kg ha⁻¹.

La aplicación de la fuente nitrogenada se realizó en dos partes: al momento de la siembra y 45 días después. El efluente se aplicó 20 días después de la siembra a un lado de cada hilera de cultivo, sin incorporarlo, sembrando la manera en que operan los agricultores.

Las lluvias durante el período de invierno fueron escasas, por lo que durante el período experimental se efectuaron siete riegos por medio de aspersión.

A la cosecha se midió peso de grano, peso de paja, componentes de rendimiento y los porcentajes de nitrógeno en el grano y la paja.

A los datos se les practicó análisis de varianza y prueba de F. Cada variable de respuesta fue sometida a una comparación múltiple de medias por el método descrito por Tukey, para un valor de $\alpha = 0.05$.

RESULTADOS Y DISCUSION

Caracterización química.

En el Cuadro 1 se presentan los resultados de los análisis practicados al efluente, tanto en su estado de humedad original como después de seco al horno. El secado provocó un cambio significativo en la calidad de material. De particular importancia fueron la disminución de aproximadamente un 50% en la concentración de ácidos fúlvicos y húmicos y el aumento consecuente de la fracción humina (esta última es de escaso valor agronómico) que fue motivado, probablemente, por la descomposición y volatilización de algunos componentes aromáticos de fácil ruptura y compuestos fenólicos de bajo peso molecular presentes en los ácidos fúlvicos. Los grupos carboxílicos y fenólicos también aumentaron con el secado. En cambio la concentración de la fracción N-NH_4^+ y el N total decrecieron drásticamente. La primera disminuyó en promedio de 213 a 1 mg l⁻¹, en tanto que el porcentaje de N total bajó de 3.3 a 1.5. Ambos procesos reducen la calidad agronómica del producto. La pérdida de N-NH_4^+ fue causada por la volatilización de NH_4^+ al aumentar la temperatura y por el aumento del pH de 7.9, en la forma húmeda original, a pH 10.5, en el material seco. Como consecuencia de las pérdidas del amonio, la conductividad eléctrica bajó de 9.5 a 2.6 mmho cm⁻¹.

En la gran mayoría de los trabajos se reportaron resultados de pruebas hechas sólo con material seco (Amaya, 1975; Bux, 1975; Gómez y Viniegra, 1979; Viniegra *et al.*, 1979). Las observaciones hechas en la presente investigación señalan la importancia de analizar el material con su humedad original, sin secado previo, para evitar pérdidas durante este último paso.

Las características de importancia agronómica como lo son la concentración de elementos como P, K, Ca, Mg y en la de NH_4^+ , así como en el contenido de ácido húmico y el pH, difirieron estadísticamente entre ambas fechas de muestreo.

La diferencia de concentración de los elementos en las dos fechas de colecta, se debe tanto al efecto que tiene la calidad de la dieta de los animales que proporcionan el estiércol para el funcionamiento del sistema de digestión, como a la variación en la temperatura ambiental durante la fermentación.

Cuadro 1. Caracterización química del efluente de la digestión anaerobia en forma material (húmedo) y deshidratado (seco) colectado en dos fechas de muestreo.

Análisis	Húmedo			Seco ¹⁾			DHS (0.05) ²⁾	
	20/dic/82	27/ene/83	\bar{x}	20/dic/82	27/ene/83	\bar{x}	A	B
Efluente								
Humedad (%)	95.0	94.6	94.8	-	-	-	2.7	-
Sólidos totales (%)	5.0	5.4	5.2	-	-	-	2.7	-
Sólidos volátiles (%)	1.2	2.0	1.6	-	-	-	0.5	-
pH	8.0	7.7	7.9	10.1	10.8	10.5	0.3	0.2
CE (mmho cm^{-1} 25°C)	8.2	10.9	9.5	2.0	3.1	2.6	1.3	0.7
Acido fúlvico (%)	56.8	57.3	57.1	26.4	29.3	27.9	15.3	8.7
Acido húmico (%)	13.4	8.6	11.0	4.3	11.2	7.8	2.4	1.4
Humina (%)	29.8	34.0	31.9	69.3	59.5	64.4	13.6	7.8
Grupos carboxílicos y fenólicos (meq l^{-1})	41.0	66.0	53.5	56.0	59.0	57.5	3.7	2.1
N total de MS (%)	3.4	3.3	3.4	1.5	1.4	1.5	0.2	0.1
" (mg l^{-1})	1498.0	1453.0	1476.0	750.0	756.0	753.0	49.0	27.9
N hidrolizable (%)	-	-	-	1.1	0.9	1.0	0.2	-
N- NH_4 (mg l^{-1})	294.8	131.9	213.4	0.3	0.5	0.4	5.9	3.3
N- NO_3 (mg l^{-1})	19.1	2.5	10.8	0.8	1.2	1.0	2.1	1.2
P (mg l^{-1})	217	344	281	164	248	206	15.0	8.5
K (mg l^{-1})	1766.7	2541.7	2154.2	1041.7	2676.4	1859.1	206.6	117.6
Ca (mg l^{-1})	718.8	1062.5	890.7	488.3	883.6	686.0	170.2	96.9
Mg (mg l^{-1})	263.9	361.1	312.5	158.7	282.1	220.4	36.2	20.6
Materia orgánica (%)	61.7	59.1	66.4	-	-	-	1.3	-
Carbono (%)	35.8	34.3	35.0	-	-	-	0.7	-
Fracción líquida (filtrado)								
N- NH_4 (mg l^{-1})	220.0	113.0	167.0	-	-	-	52.4	-
K (mg l^{-1})	1955.0	2004.9	1979.9	-	-	-	238.8	-
Ca (mg l^{-1})	231.1	290.8	261.0	-	-	-	33.1	-
Mg (mg l^{-1})	1330.3	1368.6	1349.6	-	-	-	180.3	-
Na (mg l^{-1})	199.9	243.7	217.3	-	-	-	10.6	-

1) Seco a 70°C, los datos de estas columnas son comparables con la anterior.

2) Para comparación entre medias: A/ de fecha de muestreo; B/ de estado de humedad.

La dieta inicial de los animales contenía mayor proporción de leguminosas lo cual se reflejó en el porcentaje de P, K, Ca, Mg y en los valores de pH del efluente. Las temperaturas ambientales en diciembre fueron mayores que las de enero.

Los resultados de los análisis químicos muestran que el efluente de la digestión anaerobia es un abono orgánico de calidad comparable con otras fuentes similares descritas en la literatura (Augenstein, 1981; ICE, 1981; ISF, 1980; Villarroel, 1983) y que no habría inconveniente en su uso. El manejo apropiado (evitar el secado) es fundamental para obtener un producto de mayor calidad.

Experimento de Campo

El desarrollo del trigo no fue vigoroso a pesar de que la aplicación de los materiales fertilizantes se efectuó oportunamente y que se tuvo cuidado de mantener al cultivo en condiciones favorables de humedad. Es probable que las bajas temperaturas que se registraron durante la etapa de crecimiento del cultivo hayan frenado su desarrollo.

Los rendimientos de grano, paja y el peso de materia seca total se presentan en el Cuadro 2. El rendimiento promedio de grano de todos los tratamientos fue de 1428 kg ha⁻¹, valor considerado bajo para un trigo de invierno desarrollado en condiciones de riego en esta región. El efecto de la fertilización química nitrogenada no fue significativo. Sin embargo, el rendimiento medio de los tratamientos sin este nutrimento fue ligeramente inferior (1334 kg ha⁻¹) al promedio de los tratamientos que recibieron la fertilización nitrogenada (1459 kg ha⁻¹). Se especuló que la falta de respuesta a nitrógeno pudiera deberse a lixiviación de este elemento, como consecuencia de los frecuentes riegos a que fue sometido el cultivo durante su período de desarrollo. Los niveles de P extractable (18 ppm P Bray-1) y de potasio intercambiable fueron considerados adecuados.

En contraste, con la falta de respuesta anterior, el efluente aumentó significativamente los rendimientos de grano

de trigo. En efecto, los porcentajes promedios de aumento de los rendimientos con 10, 20 y 30 m³, con respecto al testigo sin efluente fueron de 32, 49 y 77, respectivamente. En la Figura 1 se presentan los rendimientos de grano de los tratamientos con nitrógeno aplicado en forma orgánica e inorgánica, así como la suma de ambos.

Cuadro 2. Efecto de la aplicación del efluente de la digestión anaerobia de estiércol vacuno solo y en combinación con fertilización nitrogenada sobre el rendimiento de grano, paja y materia seca total de trigo de invierno cv. México M-82.

Dosis N	Efluente (m ³ ha ⁻¹)				\bar{x}	DHS ¹⁾ (P=0.05)	
	0	10	20	30			
<u>Peso de grano (kg ha⁻¹)</u>							
kg ha ⁻¹	0	862	1407	1556	1510	1334	427 ^a
	40	1140	1392	1589	1801	1481	220 ^b
	80	1029	1470	1572	1982	1513	441 ^c
	120	1057	1130	1381	1955	1381	574 ^d
	\bar{x}	1023	1350	1524	1812	1427	
<u>Peso de paja (kg ha⁻¹)</u>							
	0	3747	3939	4024	4444	4039	899 ^a
	40	3830	4222	4994	5337	4596	404 ^b
	80	3826	4057	5623	5035	4385	808 ^c
	120	4472	3631	4956	5563	4656	1139 ^d
	\bar{x}	3969	3962	4649	5095	4419	
<u>Materia seca total (kg ha⁻¹)</u>							
	0	4609	5346	5581	5955	5373	1171 ^a
	40	4974	5614	6583	7138	6078	484 ^b
	80	4055	5528	6195	7018	5899	969 ^c
	120	5530	4762	6338	7519	6037	1441 ^d
	\bar{x}	4992	5312	6174	6907	6847	

- 1) Para comparación entre medias:
 - a) de nitrógeno
 - b) del efluente
 - c) del efluente para el mismo nivel de nitrógeno
 - d) de cualquier tratamiento

La aplicación de una combinación de nitrógeno orgánico e inorgánico fue la que mejores resultados rindió. Así, por ejemplo, la aplicación de 120 kg N ha^{-1} en forma inorgánica produjo aproximadamente 1000 kg ha^{-1} de grano, cifra que casi se duplicó al

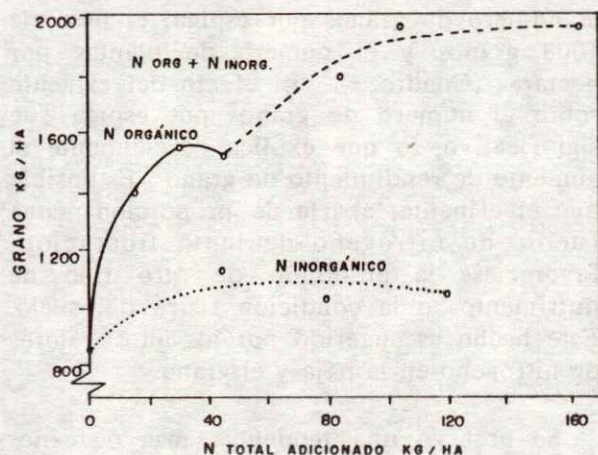


Figura 1. Efecto de la aplicación del efluente de la digestión anaerobia de estiércol vacuno, fertilizante inorgánico nitrogenado y la combinación de ambos factores sobre el rendimiento de grano del cultivo de trigo de invierno cv. México M-82.

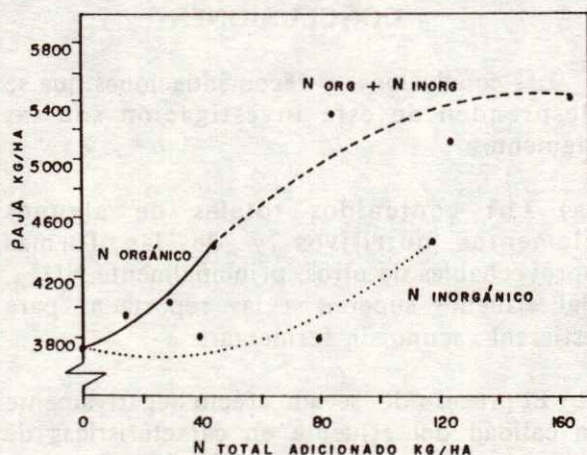


Figura 2. Efecto de la aplicación del efluente de la digestión anaerobia de estiércol vacuno, fertilizante inorgánico nitrogenado y la combinación de ambos factores sobre el rendimiento de paja del cultivo de trigo de invierno cv. México M-82. Chapingo, Méx., 1983.

aplicarse la misma cantidad de nitrógeno pero en forma combinada, es decir, nitrógeno orgánico más inorgánico. Por su naturaleza orgánica el efluente seguramente se comportó como un fertilizante nitrogenado de lenta liberación, lo cual favoreció la nutrición continua del cultivo y contrarrestó cualquier pérdida de nitrógeno inorgánico que pudiese haber ocurrido por riego.

Los rendimientos máximos de grano se obtuvieron con la combinación de 30 m^3 de efluente con 80 y 120 kg N ha^{-1} (aproximadamente 1970 kg ha^{-1}) los cuales contrastan con los rendimientos del tratamiento testigo (862 kg ha^{-1}).

El efecto del nitrógeno sobre el rendimiento de paja fue semejante al ejercido sobre el rendimiento de grano, esto es, los rendimientos en los tratamientos con efluentes (4569 kg ha^{-1}) superaron al tratamiento sin efluente (3969 kg ha^{-1}). El mayor de los rendimientos fue el obtenido con 30 m^3 de efluente y 120 kg N ha^{-1} , tratamiento que coincide con el de la variable anterior. Estos resultados aparecen en la Figura 2.

La relación paja:grano se vio afectada por los tratamientos en estudio. Esta relación es un indicador de la distribución de los metabolitos en la planta (Sahagún, 1973). En el tratamiento testigo su valor fue de 6.5, que disminuyó a 3.0 en el tratamiento con 30 m^3 de efluente y 120 kg N ha^{-1} . Ese material no solamente aporta nitrógeno aprovechable por la planta, sino también otros elementos (P, K, microelementos) que contribuyen a elevar los rendimientos y que pueden explicar el fenómeno descrito.

Si se consideran los rendimientos de paja más grano, esto es la producción de la materia seca total, se puede concluir que los tratamientos con efluente superaron estadísticamente a los testigos sin éste. El mayor rendimiento obtenido fue aquel en que se combinó 30 m^3 de efluente (equivalente a 48 kg N ha^{-1}) con 120 kg N ha^{-1} como sulfato de amonio, lo cual da un total de 168 kg N ha^{-1} .

Los porcentajes de nitrógeno en el grano y en la paja variaron por efecto de los tratamientos de 3.5 a 3.8% de N en el primero y de 1.8 a 2.0% de N en la última. Estos valores se consideran altos. Para el caso del grano se traducen en porcentajes de proteína de 19.4 a 21.7, los cuales podrían explicarse por los bajos rendimientos obtenidos. A pesar de que ninguno de los tratamientos afectó significativamente los porcentajes de nitrógeno en la planta, la cantidad de este elemento en el grano, la paja y de materia seca total fueron incrementados significativamente por los tratamientos con dosis crecientes de efluente, pero no por la fertilización química nitrogenada. Esta

Cuadro 3. Efecto de la aplicación del efluente de la digestión anaerobia en combinación de fertilización nitrogenada sobre el número de granos por espiga, peso de 1000 granos en cultivo de trigo de invierno cv. México M-82. Chapingo, Méx., 1983.

Dosis N	Efluente ($m^3 ha^{-1}$)				\bar{x}	DHS ¹⁾ (P=0.05)
	0	10	20	30		
kg ha⁻¹						
	Número de granos espiga ⁻¹					
0	21	22	25	28	24	10.0 ^a
40	22	24	23	25	24	5.0 ^b
80	24	25	24	34	27	9.0 ^c
120	25	22	31	25	26	13.0 ^d
\bar{x}	23	23	26	28	25	
Peso de 1000 granos (g)						
0	24.8	27.7	29.2	29.7	27.8	6.6 ^a
40	26.8	28.6	29.8	33.8	29.7	3.5 ^b
80	24.4	29.0	29.2	31.2	28.5	6.9 ^c
120	28.2	28.9	29.6	31.2	29.5	8.9 ^d
\bar{x}	26.0	28.6	29.4	31.5	28.9	

1) Para comparación entre medias

a) de nitrógeno

b) del efluente

c) del efluente para el mismo nivel de nitrógeno

d) de cualquier tratamiento

observación justifica la idea que el efluente liberó lentamente su nitrógeno, lo cual permitió una mayor producción de materia seca o aportó otros nutrimentos.

Con el fin de determinar cuales componentes del rendimiento eran las responsables de los aumentos de rendimiento observados, se midió el número de granos por espiga, el peso de 1000 granos y el número de plantas por hectárea (Cuadro 3). El efecto del efluente sobre el número de granos por espiga fue significativo, lo que explica parcialmente el aumento de rendimiento de grano. Es posible que el efluente, aparte de proporcionar una fuente de nitrógeno de lenta liberación, favoreciese la absorción de otro tipo de nutrimentos o la condición física del suelo. Este hecho es sugerido por los altos valores de nitrógeno en la paja y el grano.

Se observó una tendencia más o menos definida entre el incremento del peso de 1000 granos y el aumento de los volúmenes del efluente aplicado. Este componente aumentó 10, 13 y 21% respecto al testigo cuando el trigo se trató con 10, 20 y 30 m^3 del efluente aplicado.

CONCLUSIONES

Las conclusiones y recomendaciones que se desprenden de esta investigación son las siguientes:

(a) Los contenidos totales de algunos elementos nutritivos y de las formas aprovechables de otros, principalmente NH_4^+ , del efluente superan a las reportadas para estiércol vacuno sin fermentar.

(b) El proceso de secado afectó negativamente la calidad del efluente en características de importancia agronómica (NH_4^+ , pH, CE, etc.).

(c) Los rendimientos en grano y paja de trigo fueron incrementados conforme se aumentó el volumen del efluente aplicado. Este incremento fue de 32, 49 y 77% con respecto a los tratamientos sin efluente.

(d) Al combinarse el efluente con una fuente química nitrogenada se obtuvo un beneficio adicional.

(e) En los tratamientos en que se aplicó el efluente se tuvieron mayores rendimientos de nitrógeno en grano y en paja, lo cual en el caso del grano significa una mayor cantidad de proteína.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen la valiosa colaboración del Lic. Jesús Arias Ch. de la Fundación de Ecodesarrollo Xochicalli, A.C., por las facilidades formuladas para el desarrollo de este trabajo y al Dr. Roberto Núñez Escobar, por sus valiosas sugerencias.

LITERATURA CITADA

AMAYA, M., R. 1975. Diseño y operación de un sistema experimental para la obtención de gas metano a partir de desechos agrícolas. Instituto de Investigaciones Metalúrgicas, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Morelia, Michoacán.

AUGENSTEIN, D. 1981. Principios técnicos de la digestión anaerobia, pp. 65-93. *In*: O. Monroy y G. Viniegra (comp.) Biotecnología para el aprovechamiento de los desperdicios orgánicos. AGT Editores, México.

BAQUEDANO M., M., M. YOUNG y H. MORALES. 1979. Los digestores: energía y fertilizantes para el desarrollo rural. Instituto Nacional de Investigaciones sobre Recursos Bióticos, Xalapa, Veracruz.

BUX S., R. 1975. Biogas plant. Generating methane from organic wastes and design with specifications. Gobar Gas Research Station, Aitmal, India.

GOMEZ G., J. y G. VINIEGRA. 1979. The use of anaerobically digested cattle slurry as a fertilizer for vegetables. *Tropical Animal Production (México)* 4: 26-30.

ICE. INSTITUTO COSTARRICENSE DE ELECTRICIDAD. 1981. Biomasa: fuente de energía no convencional. San José, Costa Rica.

INDRICK, S. 1980. Diseño y construcción de un biodigestor: la utilización del efluente de un biodigestor. Educación Tecnológica de Costa Rica, San José, Costa Rica.

ISF. INSTITUTE OF SOIL AND FERTILIZER. 1980. The utilization of biogas fermentation residue-sludge and effluent. UNIDO. Beijing, China.

MANDUJANO M., I., M. MARTINEZ, A. FELIX y A. SANCHEZ. 1979. Informe final sobre operación del digestor familiar. Instituto de Investigaciones Eléctricas, División Fuentes de Energía, Departamento de Fuentes Avanzadas, Cuernavaca, Morelos.

MARCHAIM, V. 1983. Anaerobic digestion of agricultural wastes: the economics lie in the effluent uses, pp. 357-363. *In*: Proceeding Third International Symposium on Anaerobic Digestors, Boston, Massachusetts.

MC GARRY, M.G. y J. STAINFORTH (ed.). 1978. Compost, fertilizer and biogas production from human and farm wastes in the People's Republic of China. International Development Research Center, Ottawa, Canada.

NAS. NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES. 1977. Methane generation from human, animal and agricultural wastes. Report of "ad hoc" Panel of the Advisory Committee of Technology Innovation. Washington, D.C.

SAAL, L. 1983. Informe de los biodigestores de Cochabamba. OLADE. Boletín Energético (Ecuador) 14: 60-66.

SAHAGUN C., J. 1973. Determinación de la relación grano-paja en 25 variedades de trigo. Universidad Autónoma Chapingo, Chapingo, México. (Tesis de Licenciatura).

STEWART B., A. 1982. El efecto del estiércol sobre la calidad del suelo. pp. 66-77. *In:* J.Z. Castellanos y J.L. Reyes. (ed.). Memorias del Primer Ciclo Internacional de Conferencias sobre Utilización del Estiércol en Agricultura. Ingenieros Agrónomos del Tecnológico de Monterrey, A.C., Sección La Laguna, Torreón.

TAIGANIDES, P. 1977. Animal wastes. Applied Science Publishers, London, G.B.

TISDALE, S.L., W.L. NELSON y D.J.D. BEATON. 1985. Soil fertility and fertilizers. Fourth edition. McMillan Publishing Co., New York.

VERASTEGUI L., J. 1980. El biogás como alternativa energética para zonas rurales. *OLADE. Boletín Energético (Ecuador)* 14: 67-94.

VILLARROEL, M. 1983. Informe del proyecto agrobiología Cochabamba, pp. 67-77. *In:* Primer seminario taller sobre evaluación de programas de biogás en Bolivia. *OLADE*, Cochabamba, Bolivia.

VINIEGRA, G., G. RAMIREZ y A. MUNGIA. 1979. Criterios para la utilización de digestores anaerobios en las áreas rurales de México, México (Documento de Trabajo).

VINIEGRA G., A. MUNGIA y G. RAMIREZ. 1981. Aspectos microeconómicos de la investigación agrícola pecuaria, pp. 213-223. *In:* O. Monroy y G. Viniegra (comp.). Biotecnología para el aprovechamiento de los desperdicios orgánicos. *AGT Editores*, México.

WELLER, J.B. y S.L. WILLETS. 1977. Farm wastes management. Granada Publishing, London, G.B.

CARACTERIZACION DE SITIOS EXPERIMENTALES CON FINES DE GENERACION DE TECNOLOGIA DE PRODUCCION DE COSECHAS

Experimental Soil Sites Characterization for Transfer of Technology in Crop Production

Octavio Pérez-Zamora

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

Palabras clave: Potencial del sitio, Transferencia de tecnología, Ambito de producción, Desarrollo del perfil.

Index words: Site potential, Technology transfer, Profile development.

RESUMEN

En la zona sur de México la extrapolación de resultados de fertilización, entre otras prácticas, se encuentra limitada en gran medida por falta de información sobre la caracterización de los sitios donde se condujeron los trabajos experimentales. Como conclusión del proyecto cooperativo INIFAP-CIMMYT, esta situación dificultó la transferencia de tecnología de fertilización de maíz de temporal en la región de La Costa de Jalisco. Como resultado de esto el objetivo del presente trabajo fue subsanar la carencia de información edáfica y climática existente en la Costa de Jalisco y caracterizar 18 sitios experimentales del Proyecto INIFAP-CIMMYT; además, se agrupó e interpretó la variación observada en la zona, la cual era considerada como homogénea, desde el punto de vista climático y edáfico.

Los resultados mostraron gran variabilidad en la zona de estudio, lo cual pudiera representar un obstáculo para transferir tecnología de fertilización en áreas homogéneas, mediante el método de áreas análogas. Sin embargo, la variabilidad observada pudo agruparse, de tal manera que se sistematizó la variación entre zonas y dentro de zonas. Las características del suelo que mostraron relación con la posición topográfica, unidad de suelo y material parental, fueron la profundidad del suelo, desarrollo del perfil, pH, presencia de estratos endurecidos y productividad del sitio. El ámbito de potencial de sitio varió de 37.0 a 100.0%, para Regosoles y Feozem, respectivamente; otros suelos observados fueron Fluvisoles, Alfisoles y Vertisoles. En síntesis el conocimiento de la variación entre zonas y dentro de zonas resulta de importancia al efectuar la selección de sitios experimentales con la finalidad de hacer un uso más eficiente de los recursos de investigación y facilitar la adopción y transferencia de tecnología.

SUMMARY

Transfer of fertilizer technology for maize in La Costa de Jalisco is limited by lack of information on soil and climate of the region.

This situation was reported by the cooperative research project INIFAP-CIMMYT carried out in the region. The objective of this work was to characterize soil properties of 18 experimental sites of the INIFAP-CIMMYT project. La Costa de Jalisco was considered as an homogeneous area with respect to soil and climate; however, findings showed that the area is highly variable, and two zones are easily identified: a High Zone, where precipitation was higher and better distributed than in the Lower Zone. Soils are about the same for both, High and Low Zone: Feozem, Regosols, Luvisols, Vertisols and Cambisols; but, the agricultural soil potential index for maize is not the same. The soil potential index is 37 and 100% for Regosols and Vertisols, respectively. Other soil characteristics that showed variation between and within the zone were soil depth, soil development, pH and parent material. As a result of this work we conclude that it is highly important to have a comprehensive knowledge of experimental sites in order to make a better and more efficient use of available resources and improve technology transfer.

INTRODUCCION

Pérez (1987) señala que en México, como en muchos países, la investigación agrícola está sujeta a críticas, en el sentido de que los resultados no son lo suficientemente transferidos a los usuarios, y que se requiere desarrollar métodos más eficientes de transferencia de tecnología. Sin embargo, la situación se complica por la gran variabilidad de factores agrofísicos, el gran número de cultivos, los numerosos sistemas de producción y el limitado conocimiento de los recursos naturales del país. Un ejemplo de lo anterior es citado por Pérez (1987) para la zona sur de México, la cual ocupa un área de 52.5 millones de hectáreas, o sea el 27% del territorio nacional, y en donde a la escala de 1:250,000 se tienen identificados 87 diferentes unidades agroecológicas para la producción de maíz de temporal (Pérez, 1987). En esta misma zona se estima, que cuando se realice un estudio

detallado de suelos se tendrán casi 2500 series y aproximadamente 1000 familias. En adición, si se considera que las propiedades del suelo cambian con el uso y con la adición de insumos, tales como fertilizantes, riegos y manejo del suelo, la variación esperada puede ser aún mayor (Pérez-Silva *et al.*, 1971).

La magnitud de la investigación que se requeriría para cubrir una situación como la indicada arriba contando además con investigadores bien entrenados, representa un problema de primera magnitud en la zona sur de México. Por otra parte, el objetivo fundamental de los estudios experimentales es transferir los resultados, como medio para incrementar la productividad de los suelos. En estas circunstancias resulta imperativo que los sitios experimentales que se seleccionen sean los más adecuados, y que permitan extrapolar los resultados con un aceptable grado de confiabilidad.

Los mapas para transferencia de tecnología, que se apoyan en el método de áreas análogas son disponibles a diferentes escalas; el más utilizado es el de escala de 1:250,000 y corresponde a áreas agroecológicamente homogéneas, en las cuales se hace una integración del clima, relieve y gran grupo de suelos, así como de la capacidad de uso a un nivel de tecnología dado. Esta clase de trabajos resulta apropiada para estudios de gran visión y sirve para transferir sistemas de producción homogéneos y para planear un uso general del suelo (Pérez, 1987; Sánchez *et al.*, 1982). Un requisito para utilizar el método de áreas análogas es tener áreas mapeables a escala de 1:250,000. Este es un método general, parcial, estático y simple que puede servir de ayuda en apoyo de transferencia de sistemas de producción generalizados.

Otro método de transferencia de tecnología se apoya en efectuar recomendaciones de fertilización de P basadas en pruebas de calibración y experimentación de campo. Esta aproximación fue utilizada en 1.0% de los 1500 experimentos de fertilización que se efectuaron en la zona sur de México (Pérez,

1987). En este caso la transferencia puede hacerse al nivel parcelario, considerando únicamente el nivel de fertilidad de la muestra de suelo y la curva de respuesta específica obtenida en el cultivo utilizado para la calibración. Sin embargo, si se quiere incluir otras variables, tal como el clima, y hacer otras predicciones sobre fechas de siembra, densidad de siembra y rendimiento de los cultivos de una manera eficiente y cuantitativa, se deberá considerar el uso de modelos de simulación.

La extrapolación de resultados de fertilización para la zona sur de México pretendió hacerse siguiendo el método de áreas análogas (Pérez, 1987); desafortunadamente en los estudios experimentales no se caracterizaron apropiadamente el suelo y el clima de la región. Como resultado de lo anterior, los 1500 experimentos de fertilización efectuados durante el período de 1954 a 1985 aportaron poco a la interpretación y extrapolación de resultados. En consecuencia, esto limitó en gran medida el proceso de transferencia de tecnología de fertilización de maíz de temporal en el área.

Como resultado de la experiencia indicada en el párrafo anterior, se detectó la necesidad de generar tecnologías para siembras o grupos de agricultores con condiciones ecológicas y socioeconómicas relativamente uniformes. Congruente con esta necesidad, el objetivo del presente trabajo fue subsanar la carencia de información edáfica y climática existente en la Costa de Jalisco y caracterizar los sitios experimentales con el fin de que la información obtenida pueda utilizarse en la generación de tecnología de producción de cosechas; en este sentido el proyecto cooperativo INIFAP-CIMMYT (Investigación en Campos de Agricultores, ICA) explora dicha posibilidad.

MATERIAL Y METODOS

El área de estudio está localizada en los municipios de Cuautitlán y La Huerta. En Cuautitlán comprende las localidades de

Cuautitlán, Rincón, Nance, Lagunillas y Tequesquitlán y se le denomina Zona Alta; en La Huerta comprende las localidades de La Concha, Plazola, El Totole y La Huerta, a la cual se le denomina Zona Baja.

La Zona Alta se caracteriza por tener un ámbito de altitud de 450 a 600 msnm, mientras que el ámbito de altitud de la Zona Baja es de 320 a 400 msnm.

El Proyecto INIFAP-CIMMYT (ICA)

En la región se condujo un proyecto cooperativo INIFAP-CIMMYT con el propósito de generar tecnología apropiada en terrenos de agricultores para condiciones ecológicas y socioeconómicas relativamente uniformes (Hibón, 1987); por esta circunstancia y con el objetivo de caracterizar e identificar las posibles diferencias que pudieran existir en dichas áreas uniformes, le solicitaron al autor efectuar la caracterización de 18 sitios experimentales.

El proyecto ICA tiene como objetivo acelerar la transferencia de tecnología generada por los Campos Experimentales (Hibón, 1987; García *et al.*, 1987); dicho proyecto se inició en el Campo Agrícola Experimental de la Costa de Jalisco en agosto de 1985; el cultivo utilizado fue unicultivo de maíz de temporal, al cual se le dedica una superficie de 12,000 ha en el área seleccionada por el proyecto. Esta superficie representa el 10.3% del maíz que se siembra en el área de influencia del Campo Experimental que INIFAP-Jalisco tiene en la Costa de Jalisco. La hipótesis base del proyecto ICA, es que la producción de maíz se encuentra por abajo del potencial de la zona, debido a que la tecnología que el agricultor utiliza no es lo suficientemente buena en cuanto a tipo de insumos y forma de manejarlos, así como a las prácticas de cultivo.

Climatología

En el área de estudio los tipos de clima son el AW₂, AW₁ y AW₀, los cuales presentan

asociación con el gradiente altitudinal y direccional: de norte a sur. La distribución en superficie de estos tipos climáticos es 10% de AW_2 , 20% de AW_0 y el AW_1 ocupa el 70% de la región. En la Zona Alta, la cantidad de lluvias es mayor y presenta además una mejor distribución que la Zona Baja, sin embargo, en esta última la temporada de lluvias inicia más temprano. En la Figura 1 se muestra la distribución de la precipitación a intervalos de cinco días, determinada por García *et al.*, 1987, para las Zonas Alta y Baja.

La distribución de la precipitación se considera como buena para el desarrollo del maíz en las localidades de Cuautitlán y Lagunillas, e irregular para las localidades Tequestitlán y Coyonque; siendo en esta última períodos de sequía de 25 días o más durante la temporada de lluvias (Hibón, 1986a).

Aunque en la Zona Baja la precipitación se inicia antes que en la Zona Alta, la distribución de la precipitación en la primera es muy irregular, lo que ha ocasionado pérdidas de las siembras de maíz establecidas en suelos de Fluvisoles y Regosoles de textura arenosa (Hibón, 1986b).

Suelos del Area

En la Figura 2, a una escala 1:50,000, se muestran las principales unidades de suelo encontradas en la región. En dicha figura se observa que existen suelos Feozem, Regosoles, Fluvisoles y Luvisoles, tanto en la Zona Alta como en la Baja. Como puede apreciarse de esta información, los suelos del área son variados, y presentan características físicas y químicas muy diferentes. Por lo anterior, es de esperar que el maíz presente respuesta diferencial, dependiendo de la clase de suelo en que se cultive.

En cuanto a extensión, son más abundantes los Cambisoles y Regosoles, seguidos por Feozem y Luvisoles, y en menor extensión se encuentran los Vertisoles y Fluvisoles. En el clima AW_2 , la unidad de suelo predominante es Cambisol (80%), seguido por Regosoles (15%) y Feozem háplicos (5%). En el clima AW_0 , las unidades de suelos observados son los Regosoles (40%), Cambisoles (40%), Luvisoles (10%) y Feozem háplicos (5%); el restante 5% lo ocupan otros suelos; en este clima (AW_0) también se caracterizan los suelos por su baja capacidad de almacenamiento de agua en el

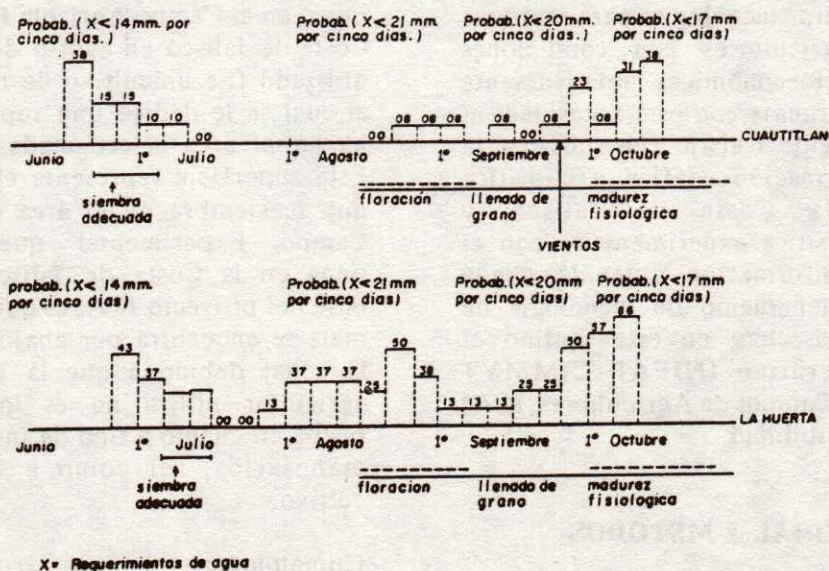


Figura 1. Probabilidad de tener deficiencia de agua en distintas etapas fenológicas del cultivo de maíz (sin tomar en cuenta el agua disponible en el suelo).

perfil. En el clima AW_1 se observan las siguientes unidades de suelo: Regosoles (35%), Cambisoles (30%), Feozem (15%), Litosoles (5%), Luvisoles (2%), Vertisoles (2%), Fluvisoles (5%) y Acrisoles órticos (6%).

Descripción de los Sitios Experimentales

Previo al establecimiento de experimentos del proyecto ICA, se describió pedológicamente cada uno de los sitios experimentales seleccionados por los investigadores del grupo ICA; además, se interpretaron e identificaron las posibles limitantes de producción relacionadas con el suelo. La descripción de los perfiles de suelo se hizo de acuerdo con los procedimientos señalados por el Soil Survey Staff (1975). En los sitios experimentales se colectaron muestras de suelo de cada uno de los horizontes de campo observados y se efectuaron los análisis físicos y químicos correspondientes. Los métodos de análisis son los usuales en esta clase de estudios y fueron reportados previamente por Pérez (1987).

RESULTADOS Y DISCUSION

En la región (de los dieciocho sitios estudiados sólo se describieron nueve, ya que los restantes resultaron similares), se observó gran variabilidad asociada con las características del suelo, tal como textura, pH, profundidad, pendiente, entre otros. Las unidades de suelo observadas en los sitios experimentales correspondieron a Fluvisoles, Regosoles, Luvisoles, Feozem y Vertisoles (FAO/UNESCO). Algunas observaciones similares para ambas zonas, Alta y Baja, se indican a continuación.

La capacidad de almacenamiento de agua en el perfil varió de 50 a 75 y de 150 a 200 mm^{-1} para los Regosoles y Vertisoles, respectivamente. Los Luvisoles presentaron mayor desarrollo del perfil que los Fluvisoles; los primeros mostraron horizontes argílicos, mientras que los segundos no presentaron horizontes de diagnóstico. En cuanto a textura, los ámbitos también son muy variables de arenosos (A) y franco arenosos



Figura 2. Distribución de las diferentes clases de suelos, tipos climáticos, y localización de los sitios experimentales y casetas climatológicas en los Valles de La Huerta y Cuautitlán, Jal.

(Fa) en los Regosoles y Fluvisoles a texturas completamente arcillosas (R) como en Vertisoles y Feozem vérticos.

En cuanto a los materiales parentales del suelo también se observaron diferencias. En los sitios donde se muestrearon Regosoles se observaron sedimentos aluviales; en tanto que en donde se describieron Vertisoles y Feozem, el material parental se relacionó con materiales calizos. Además, los suelos mostraron asociación con la posición fisiográfica en que se encontraban descansando. Así, se observó que los Fluvisoles se localizaron en los márgenes de los ríos, los Regosoles en terrenos ondulados, los Luvisoles en terrazas, y los Feozem y Vertisoles en áreas relativamente planas.

Suelos de la Región

Es conocido que para obtener la función de respuesta del cultivo de maíz, se requiere información sobre características del suelo,

clima y manejo; además, de que el conocimiento del suelo y clima de una región provee las bases previas para planear un uso racional y eficiente de los recursos, así como los fundamentos para una transferencia efectiva de la agrotecnología (Pérez, 1987). La fuerte variación observada en el presente estudio y que en trabajos previos fue considerada como una región homogénea, se muestra en el Cuadro 1.

En la región de estudio del proyecto ICA, las características físicas del ambiente, clima y altitud, son de 1200 y 960 mm de precipitación, de 697 y 488 msnm, para las Zonas Alta y Baja, respectivamente. Los suelos de la Zona Alta tienen mayor pendiente (5.4%) que los muestreados en la Zona Baja (1.9%). Como resultado de las observaciones anteriores, es de esperar que estas características físicas, así como el desarrollo del perfil de los sitios puedan tener efecto sobre el desarrollo de los cultivos. Esto, por el conocido efecto que guarda la relación drenaje:escurrimiento:agua

Cuadro 1. Relación entre suelos e índices de productividad (IP) en las zonas Alta y Baja de la Costa de Jalisco.

Localidad	Unidad suelo	Clima y precipitación	Altitud	Perfil grupo	Pendiente	Material parental	IP
		mm	msnm		%		%
Zona Alta							
1. Ojo de Agua	Feozem	AW ₂ ,1200	710	I	2.0	Aluvial	100.0
2. Tronco Quemado	Regosol	AW ₂ ,1200	680	II	4.5	Aluvión granítico	57.0
3. Las Playas	Luvisol vértico	AW ₂ ,1200	720	II	6.0	Aluvión granítico	50.0
4. El Coyonque	Luvisol crómico	AW ₂ ,1200	680	III	9.0	Arenisca	37.0
					$\bar{X} = 5.4$	$\bar{X} = 61.0$	
Zona Baja							
1. La Marmolera	Feozem	AW ₁ ,1000	440	I	1.0	Aluvial	100.0
2. La Chililla	Feozem vértico	AW ₀ ,800	500	III	1.0	Sedim. aluvial	77.0
3. Apango	Fluvisol	AW ₁ ,1000	460	I	1.0	Sedim. aluvial	76.0
4. La Concha	Fluvisol	AW ₁ ,1000	520	I	1.5	Aluvial	65.0
5. La Concha	Regosol	AW ₁ ,1000	520	III	5.0	Aluvión granítico	42.0
					$\bar{X} = 1.9$	$\bar{X} = 72.0$	

almacenada. El perfil grupo, tal como se utiliza en este trabajo, refiere al desarrollo del perfil del suelo y sirve para estimar el desarrollo del mismo; por ejemplo el perfil grupo I refiere a suelos sin desarrollo de horizontes, ubicados en abanicos aluviales recientes, llanuras de inundación u otros depósitos secundarios; el perfil grupo II se refiere a suelos con ligero desarrollo del perfil, ubicados en abanicos aluviales recientes, llanuras de inundación u otros depósitos secundarios; y el perfil grupo III se relaciona con suelos con desarrollo moderado del perfil (subsuelos moderadamente densos), ubicados en abanicos aluviales, llanuras de inundación antiguas y terrazas.

En ambas zonas se observan suelos con grado de desarrollo comparable (Cuadro 1), sin embargo, la diferencia más notoria entre zonas se encuentra relacionada con el índice de productividad (IP) de Storie (1961). Este se define y se basa en las características del suelo que gobiernan el potencial de utilización y la capacidad productiva de la tierra (Storie, 1961). La estimación de este índice ha sido explicada en un trabajo previo de Pérez (1990).

En el Cuadro 1 podemos observar el rango en variación del potencial de sitio de cada una de las zonas, el cual tuvo un valor promedio de 61.0 y 72.0% para las zonas Alta y Baja, respectivamente. Con base en los valores de potencial de sitio determinado es de esperar que la respuesta del maíz de temporal se relacione con dicho potencial. También es de esperar que otras características físicas, como las climáticas, manifiesten su efecto y contribuyan significativamente sobre dicho potencial de producción. De esta manera puede inferirse de la información de la Figura 1 el efecto climático sobre la productividad.

Un ejemplo del clima, para suelos comparables de las Zonas Alta y Baja, sobre la producción de maíz puede inferirse del Cuadro 1; en éste se observa que la unidad de suelo en ambas zonas es la misma (Feozem), además esta unidad de suelo se caracteriza por tener el mismo grupo de perfil (I) e índice estimado

de potencial de sitio (100%); sin embargo, la diferencia en producción esperada se relaciona con la ubicación de las localidades: en el sitio Ojo de Agua (Zona Alta) la precipitación es mayor y mejor distribuida que en La Marmolera (Figura 1).

El índice de productividad es una herramienta sencilla, que puede proveer al investigador en productividad de información preliminar útil sobre la potencialidad del sitio, la cual puede servirle en la planeación e interpretación de sus trabajos experimentales. Relacionado con esto, es de resaltar que a pesar de la pequeña extensión de la región de estudio, existe una gran variación en la zona. Sin embargo, lo importante es que esta variación puede agruparse mediante el conocimiento de la unidad de suelo, y en especial de sus características, principalmente textura, profundidad, pendiente, desarrollo del perfil y estatus de fertilidad.

Características Morfológicas de los Sitios Experimentales

Las características morfológicas de cinco sitios de la Zona Baja y cuatro de la Zona Alta se muestran en los Cuadros 2 y 3. Los sitios Ojo de Agua, Las Playas, Coyonque y Tronco Quemado corresponden a la Zona Alta; mientras que los sitios La Concha, Apango, La Chililla, La Concha y La Marmolera corresponden a la Zona Baja.

En ambas zonas se observan las mismas unidades de suelos: Feozem, Regosoles, Luvisoles y Fluvisoles. Los Feozem y Fluvisoles se localizan en la parte baja del paisaje, llanuras de inundación, y se caracterizan por un desarrollo del perfil del tipo I, con excepción de los Feozem vérticos (perfil tipo III); en contraste los Luvisoles se localizan en terrazas ubicadas en terrenos ondulados, con buen drenaje y muestran desarrollo de moderado a fuerte (Perfil Grupo del tipo III), con horizontes argílicos. Para Feozem y Fluvisoles el material parental es de sedimentos aluviales, mientras que en

Cuadro 2. Características morfológicas de cinco sitios experimentales del proyecto Investigación en Campos de Agricultores (ICA) en la Zona Baja de la Costa de Jalisco. INIFAP, 1987.

Profundidad	Color	Textura	Estructura	Consistencia en húmedo	Reacción		
					H ₂ O ₂	pH	HCl
1. Sitio: La Concha: Regosol							
0-4	10YR 5/6	Af	gs ¹⁾	Suelto	si	5.0	no
4-12	10YR 4/4	Fa	1,gr	Muy friable	si	4.8	no
12-20	10YR 5/6	Af	gs	Suelto	si	4.5	no
20-25	10YR 4/4	Fa	gr	Muy friable	si	5.0	no
25-38	10YR 7/6	A	g,w	Suelto	no	7.0	no
38-53	10YR 4/6	Fa	1,gr	Muy friable	no	6.0	no
53-84	10YR 7/8	A	g,s	Suelto	no	7.0	no
84-97	10YR 4/4	Fa	1,gr	Muy friable	no	7.0	no
> 97	10YR 5/6	Af	g,s	Muy friable	no	7.0	no
2. Sitio: Apango: Fluvisol							
0-9	10YR 4/2	A	g,s	Suelto	no	6.5	si
9-26	10YR 4/2	Af	g,s	Suelto	no	6.5	no
26-35	10YR 4/3	Af	g,s	Suelto	no	6.5	no
35-41	10YR 4/3	Af	g,s	Suelto	no	7.0	no
41-50	10YR 4/3	Fa	g,s	Suelto	no	7.0	no
50-75	10YR 3/2	Fra	1,grf	Friable	si	7.0	no
75-93	10YR 4/3	Af	1,grf	Friable	si	7.0	no
> 93	10YR 5/3	Af	1,bksa,mf	Friable	no	7.0	no
3. Sitio: La Chililla: Feozem vértico							
0-12	5YR 3/4	F	gs,1bka,g	Friable	si	6.5	no
12-43	5YR 3/3	Fra	gs1,bksa,g	Friable	si	6.5	no
43-81	5YR 3/3	R	gs1,bksa,mg,	Firme	si	7.0	no
81-100	5YR 3/4	Fr	gs1,bksa,mg,	Firme	si	7.0	no
> 100	5YR 4/3	R	3,bksa,m	Firme	si	7.0	no
4. Sitio: La Concha: Fluvisol							
0-12	10YR 3/3	Af	1,bksa,f	Suelto	no	5.0	no
12-38	10YR 3/2	Af	1,bksa,f	Friable	no	4.5	no
38-60	10YR 3/2	Fa	1,bksa,f	Firme	no	6.0	no
60-73	10YR 4/3	A	1,bksa,f	Firme	no	6.5	no
> 73	7.5YR 4/4	Af	2,bks,f	Firme	no	7.0	no
5. Sitio: La Marmolera: Feozem							
0-30	10YR 3/1	Fra	2,bkm	Muy friable	si	7.0	si
30-65	10YR 3/3	Fa	1,bkaf	Friable	si	7.0	si
65-90	10YR 4/2	Fa	1,bkmf	Friable	si	7.0	si
> 90	10YR 3/2	Fa	1,bkg	Friable	si	7.0	si

1) Textura: F = Franco; Fra = Franco arcillo arenosa; Fr = Franco arcillosa; R = Arcillosa; Af = Arena francosa; Fa = Franco arenosa.
 Estructura: M₁ = masiva; gs = granos simples; 1 = débil; 2 = moderada;
 3 = fuerte; sbk = bloques subangulares; bk = bloques angulares; gr = granular; f = fina; m = media; mf = muy fina.

Luvisoles y Regosoles el material parental es aluvión granítico y areniscas.

Otra unidad de suelos encontrada en ambas zonas es la de Regosoles distrícos; ésta se caracteriza por pH ácidos, pendientes moderadas, texturas franco arenosas (Fa) y arenosas (A); el índice de productividad de sitio es el más bajo del área de estudio y se relacionan los factores de demérito con la textura arenosa y pendiente pronunciada.

Las texturas de los suelos en la Zona Baja son de arenas francosas (Af), franco arenosas (Fa) para Regosoles y Fluvisoles, con débil formación de estructura (de granos simples: gs) a estructura granular débilmente desarrollada (1, gr), la consistencia en húmedo es de suelta a muy friable y friable y sin reacción a la adición de HCl (10%) al suelo. En contraste, en Feozem y Feozem vértico las texturas resultan Fa, francas y franco arcillo arenosas (Fra); la estructura

Cuadro 3. Características morfológicas de cuatro sitios experimentales del proyecto Investigación en Campos de Agricultores (ICA) en la Zona Alta de la Costa de Jalisco. INIFAP, 1987.

Profundidad	Color	Textura	Estructura	Consistencia en húmedo	Reacción			
					H ₂ O ₂	pH	HCl	
1. Sitio: Ojo de Agua: Feozem								
0-11	10YR 3/2	F ¹⁾	2,bksa,m	Muy friable	si	6.0	no	
11-29	10YR 3/3	F	2,bksa,m	Friable	si	6.5	no	
29-47	10YR 3/2	Fra	2,bksa,f	Friable	no	6.5	no	
47-67	10YR 3/3	Fa	1,bksa,f	Friable	no	6.5	no	
67-108	10YR 3/3	Fa	1,bksa,mf	Firme	no	6.5	no	
> 108	10YR 4/3	Fra	3,bksa,g	Muy friable	si	6.0	no	
2. Sitio: Las Playas: Luvisol vértico								
0-10	10YR 3/3	Ra	2,bka,m	Friable	si	6.5	no	
10-45	10YR 3/3	R	2,bka,m	Friable	si	7.0	no	
45-62	7.5YR 4/6	R	2,bka,m	Muy friable	si	7.0	no	
62-102	7.5YR 4/6	R	2,bka,m	Muy friable	si	7.0	no	
> 102	10YR 5/8	Gar	mf		si	---	no	
3. Sitio: Coyonque: Luvisol crómico								
0-5	5YR 4/6	Fr	1,grf	Muy friable	si	7.0	si	
5-34	5YR 3/4	Fr	1,bksaf	Muy friable	si	7.0	no	
34-54	5YR 4/6	Fr	3,bksaf-m	Muy friable	si	7.0	no	
54-75	5YR 5/8	R	3,bksaf-m	Muy friable	no	7.0	no	
> 75	5YR 4/6	R	3,bksa-g	Muy friable	no	7.0	no	
4. Sitio: Tronco Quemado: Regosol								
0-16	10YR 3/3	Af	M	Suelto	--	4.5	--	
16-36	10YR 3/2	Af	1,bksa,f	Friable	--	5.0	--	
36-60	10YR 3/3	Af	1,bksa,f	Friable	--	6.0	--	
60-75	10YR 4/4	Af	m,f	Friable	--	6.5	--	
75-150	10YR 4/3	Fra	3,bksa,m	Muy friable	--	6.5	--	

1) Textura: F = Franco; Fra = Franco arcillo arenosa; Fr = Franco arcillosa; R = Arcillosa; Af = Arena francosa; Fa = Franco arenosa.
Estructura: M = Masiva; gs = granos simples; 1 = débil; 2 = moderada; 3 = fuerte; sbk = bloques subangulares; bk = bloques angulares; gr = granular f = fina; m = media; mf = muy fina.

es de bloques subangulares (sbk) y bloques angulares (bk), con desarrollo de moderado (2), de fino (f) a medianamente fino y grueso (mf, mg); la consistencia en húmedo de friable a firme; sólo en el sitio La Marmolera, como es de esperar, se observa respuesta a la adición de HCl.

En la Zona Alta, con excepción del Regosol, las texturas varían de franco arcilloso (Fr) a arcilloso (R), con buen desarrollo de estructura (2) moderado a fuerte (m, mf), bloques angulares (bk), los cuales contrastan con las mismas características de la Zona Baja; por lo que respecta a la reacción del suelo a la adición de HCl y consistencia ésta resulta similar a la de la Zona Baja.

Variación entre Zonas

Además, de las características físicas, temperatura, precipitación, altitud sobre el nivel del mar, las cuales son inherentes a la ubicación geográfica del sitio se observan otras variaciones, las cuales se relacionan con las características del suelo.

Aunque es de importancia hacer notar que la macrovariabilidad observada en la zona puede en cierta medida ser de ayuda en la definición de sistemas homogéneos, esta agrupación de macrovariabilidad resulta de poca utilidad para la definición de oportunidades de investigación (líneas de investigación). Esto se explica por el hecho de que los factores responsables de la variación sistemática, como el paisaje (montañas, mesas, cuencas, planicies, terrazas y abanicos), y los elementos geomórficos (pie de monte, cuesta, ladera y picos) aportan poco al entendimiento, interpretación y el manejo de suelos de la Costa de Jalisco. Lo anterior se encuentra soportado por el hecho de que el cultivo de maíz, como otros cultivos básicos, es selectivamente definido por los agricultores, quienes seleccionan el ambiente edáfico más apropiado a sus circunstancias (Hibón, 1987). En consecuencia, para conocer y entender el comportamiento del maíz y su ambiente edáfico se requieren mapas con escalas más grandes, que proporcionen en suficiente detalle las

características del suelo inherentes a la producción del maíz (Pérez, 1987), así como con mayor información de datos climáticos. En síntesis, dada la gran variación edáfica, si se utilizan escalas chicas, la posibilidad de transferencia de tecnología se limita; por lo que se requiere que los sitios experimentales cuenten con el suficiente apoyo descriptivo que permita definir dominios de recomendación para establecer los sitios más apropiados y estratégicos para la investigación agrícola (Pérez, 1987).

La variación entre zonas se relaciona en especial con el índice de productividad (IP), el material parental, el clima, la pendiente, la fisiografía, las texturas, la estructura y el desarrollo del perfil. Algunas de las características anteriores de variación se presentaron y discutieron en las secciones anteriores, por lo que en esta sección sólo se hará énfasis sobre aspectos no mencionados previamente.

En ambas zonas, Alta y Baja, se observaron cambios en el desarrollo del perfil en función de la posición que ocupan los suelos en el relieve; tal es el caso de Feozem, Luvisoles y Regosoles, los cuales mostraron diferente grado de desarrollo entre sí; sin embargo, en los Regosoles el pH se relacionó con la naturaleza y origen de los materiales parentales (granítico) que favorecieron la formación de suelos ácidos; en el caso de Luvisoles el potencial de sitio se asoció con la presencia de una capa endurecida, su pendiente, textura y problemas de drenaje.

De la observación anterior inferimos que la variación detectada en la zona Alta y Baja se relaciona, en gran medida con la naturaleza del material parental y con el relieve, lo cual puede agruparse en un patrón o variación sistemática. En consecuencia, la variación entre zonas tiene como factor principal al relieve, el cual tiene como componente principal la relación escurrimiento:erosión:drenaje. En segundo término, se encuentran la variación relacionada con el material parental, el desarrollo del perfil y la profundidad del suelo.

Variación dentro de la Zona

Es de importancia conocer la variación entre zonas, la cual puede ser de utilidad en planeación regional. Sin embargo, desde el punto de vista de conocimiento y recomendación de prácticas específicas es importante agrupar las principales fuentes de variación a distancias cortas, para lo cual se requiere conocer la variabilidad existente dentro de una zona.

Las principales fuentes de variación dentro de la zona son el clima, el material parental, la textura, el desarrollo del perfil, la pendiente, y la profundidad. Sin embargo, lo importante es que toda esta variación puede integrarse en el índice de productividad de sitio (IP). Este IP presentó gran variación dentro de una misma zona (Cuadro 1), de tal manera que encuentra variación a distancias muy cortas tanto en la zona Alta como la Baja.

Como ilustración de lo anterior, se presentan dos ejemplos de variación dentro de la zona, los cuales se relacionan con el desarrollo del perfil. En la zona Baja, se describieron dos Feozem, bajo un mismo régimen climático, materiales parentales, gradiente topográfico, manejo del suelo y tiempo de formación similares. El Feozem del sitio denominado La Chililla, mostró un perfil grupo tipo III, el cual se caracterizó por estratos endurecidos a 43 cm de profundidad (Cuadro 2). Esta información contrasta con la del Feozem observado en el sitio La Marmolera, en el cual el suelo presenta un desarrollo de perfil grupo tipo I. Como resultado de esta diferencia en el desarrollo del perfil el índice de productividad resultó de 100 y 77% para los perfiles tipo I y III, respectivamente.

En la Zona Alta, al igual que en la Zona Baja, también se observaron diferencias para una misma unidad de suelos, régimen climático, topografía y materiales parentales y tiempo de formación del suelo similares. En la zona Alta, los Luvisoles ubicados en Las Playas y El Coyonque difieren en cuanto a desarrollo

del perfil; el primer sitio (Las Playas) presenta un desarrollo que corresponde al tipo II; en contraste, en El Coyonque el grupo de perfil es del tipo III. Esta diferencia se debe a que en el segundo sitio se presenta un estrato muy endurecido y muy duro a 34 cm de profundidad (Cuadro 3).

Implicaciones de la Variación en la Selección de Sitios Experimentales

La gran variación observada, en áreas relativamente pequeñas, las cuales habían sido consideradas homogéneas en trabajos previos, representa un obstáculo y una dificultad para generar y transferir tecnología mediante el método de áreas análogas para áreas homogéneas. Esta circunstancia pudo, en cierta forma, limitar la transferencia de tecnología de fertilización generada por el Campo Experimental de La Huerta (SARH, 1977); por lo que basándose en esta experiencia y la variación observada entre zonas, dentro de zonas y dentro de una misma unidad de suelos se requiere tener un mayor conocimiento de las características físicas relacionadas con el desarrollo del cultivo.

La experiencia consignada arriba, sobre falta de adopción de la tecnología de fertilización, fue detectada por Hibón (1986a y 1986b), mediante la metodología utilizada en el proyecto Investigación en Campos de Agricultores (ICA); sin embargo, por estar esto fuera de los propósitos del presente trabajo no se abundará sobre ello, haciéndose sólo el planteamiento de la hipótesis siguiente: La falta de adopción de tecnología guarda relación con el desconocimiento de la variación observada en la región de La Huerta.

En síntesis, para hacer más eficiente el uso de recursos disponibles para investigación, se debe intentar dar respuesta a tantos problemas de producción como sea posible y utilizando el menor número de sitios posibles. De esta manera, los estudios sobre transferencia de agrotecnología podrían reducir las brechas que existen entre los resultados específicos de las locaciones y los

requerimientos de recomendaciones de producción de una región.

CONCLUSIONES

1. Los suelos predominantes en el área son los Feozem, Fluvisoles, Regosoles, Cambisoles y Vertisoles.

2. Los potenciales de sitio del suelo muestran ámbitos del 37 al 100%; los cuales fueron determinados de las características del suelo. Por otra parte, los suelos ubicados en una misma unidad también mostraron potenciales diferentes.

3. Los Feozem mostraron los índices de productividad más altos (100%), en contraste con Regosoles (37.0 y 42.0%) que mostraron los índices de productividad más bajos.

4. En el área productora de maíz de temporal de la Costa de Jalisco existe gran variabilidad entre localidades, la cual se asocia con altitud, clima, naturaleza del material parental, relieve y clase de suelos. Estos resultados contrastaron fuertemente con estudios previos realizados, los cuales reportaron a la Costa de Jalisco como una área homogénea.

5. La falta de información veraz y confiable sobre los sitios experimentales en la Costa de Jalisco pudo haber limitado la utilidad de trabajos de fertilización conducidos en el área. Como consecuencia de lo anterior las recomendaciones no fueron ni son utilizadas por los agricultores del área.

6. La selección de los sitios más apropiados para conducir los trabajos experimentales debe considerar la magnitud de la variación observada en la región.

7. Un punto esencial para dar respuesta a los problemas de producción de maíz, de acuerdo con las circunstancias de los productores, es utilizar el menor número de sitios posible, para lo cual se requiere una identificación ordenada del agroambiente.

8. La selección de sitios experimentales y la definición de las oportunidades de investigación más apropiadas son de fundamental importancia en la confiabilidad y transferencia de la agrotecnología.

LITERATURA CITADA

GARCIA, B.A., J. MENDOZA R., e A. HIBON. 1987. Informe de Labores Proyecto INIFAP-CIMMYT. La Huerta, Jal. CAE Costa de Jalisco. INIFAP-SARH. México. Mimeógrafo.

HIBON, A. 1986a. La etapa de planeamiento en un programa de investigación en campos de agricultores: Desarrollando una lista de variables experimentales. Mimeógrafo. CIMMYT.

HIBON, A. 1986b. Experimento agronómico exploratorio en maíz en campos de agricultores. La Huerta y Cuautitlán, Jal. Informe 1986. La Huerta, Jal. Proyecto INIFAP-CIMMYT. Mimeógrafo. CAE La Huerta. CIFAP/Jalisco.

HIBON, A. 1987. Curso de Capacitación a la Investigación en Campos de Agricultores. Mimeógrafo INIFAP-CIMMYT. La Huerta, Jal. 6 al 10 de Abril de 1987.

PEREZ Z., O. 1986. Transecto parcial subprovincias sierras de Jalisco y Colima. Recorrido de campo efectuado durante el XIX Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo. Manzanillo, Colima. Mimeografiado.

PEREZ Z., O. 1987. Suelos y climas donde se cultiva maíz de temporal en la zona sur de México. En Prensa. Folleto Técnico. INIFAP, SARH, México.

PEREZ Z., O. 1990. Limitantes de la producción de maíz de temporal en La Fraylesca, Chiapas I: Transecto edafológico y características físicas y químicas del suelo. Terra 8-1: 68-83.

PEREZ-SILVA, J.A. COMERMA, y J. ALVARADO. 1971. Los suelos y la fertilización en las principales zonas paperas de los Andes Venezolanos. *Agronomie Tropicale* 21(2): 91-103.

SARH. 1977. Guía para la asistencia técnica agrícola. Area de influencia del Campo Agrícola Experimental "Costa de Jalisco". Centro de Investigaciones Agrícolas del Bajío. Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas. SARH. México.

SANCHEZ, A.J., L. ARIAS y J.A. COMERMA. 1982. Delimitación y definición de unidades agroecológicas. Fondo Nacional de

Investigaciones Agropecuarias. Centro Nacional de Investigaciones Agropecuarias. Publicación Técnica, Serie No. 1-02. Caracas, Venezuela.

SOIL SURVEY STAFF. 1975. Soil Taxonomy: a basic system of soil classification for making and interpreting soil surveys. USDA. Handbook 436. Govt. Printer: Washington, D.C.

STORIE, R.E. 1961. Revision of the soil-rating chart. Co-operative extension work in agriculture and home economics. College of Agriculture, University of California, and the United States Department of Agriculture.

**LIMITANTES DE LA PRODUCCION DE MAIZ DE TEMPORAL EN
LA FRAYLESCA, CHIAPAS: I. TRANSECTO EDAFOLOGICO Y
CARACTERISTICAS FISICAS Y QUIMICAS DEL SUELO**

Maize Yield Constraints in La Fraylesca, Chiapas: I.
Edaphological Soil Transect and Soil
Physical and Chemical Characterization

Octavio Pérez-Zamora

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

Palabras clave: Transecto edafológico, Areas homogéneas, Estudios de reconocimiento y B_{2t}.

Index words: Soil transect, Homogeneous areas, Soil survey evaluation and B_{2t} horizon.

RESUMEN

La Fraylesca, Chiapas es una región con buenas condiciones climáticas para la producción de maíz de temporal, sin embargo, el rendimiento unitario promedio es de sólo 2.67 ton ha⁻¹. Este rendimiento se relacionó con una baja eficiencia del uso del N y P, por el proyecto INIFAP-CIMMYT. El objetivo del presente trabajo fue proveer información secundaria de apoyo al proyecto INIFAP-CIMMYT, mediante la caracterización de los suelos donde se cultiva maíz en La Fraylesca; en la descripción se utilizó un transecto edafológico representativo de un gradiente topográfico típico. Los resultados mostraron diferencias substanciales entre el transecto y los estudios de reconocimiento previos efectuados en la región; dichos estudios reportaron a la región como área homogénea y

con pH de los suelos con valores de neutro a ligeramente alcalino; sin embargo, los resultados del transecto mostraron que en todos los suelos el pH era 4.5 o menor, además se encontró asociación entre la fisiografía del terreno y las unidades de suelo. Las unidades de suelo identificadas fueron Fluvisoles, Alfisoles, Ultisoles e Inceptisoles, los cuales se ubican en llanuras de inundación, terrazas y laderas, respectivamente. Otras características del perfil que se relacionaron con el gradiente topográfico fueron la presencia o ausencia de horizontes de diagnóstico, horizonte B_{2t}, desarrollo, profundidad y drenaje del suelo.

La región está afectada por condiciones de acidez, contenidos de Al (170 ppm o más) y porcentaje de saturación de Al (20%), lo que representa un factor clave que puede limitar la expresión del potencial de producción de la zona. Estos resultados son de importancia y tienen implicación, ya que en la región la única fuente de fertilización utilizada es el (NH₄)₂SO₄ en cantidades hasta de 1.0 ton ha⁻¹.

SUMMARY

La Fraylesca, Chiapas is a region with a good environmental physical condition for rainfed agriculture; however, average maize

yield is only 2.67 ton ha⁻¹. This yield has been related with low N and P efficiency by the INIFAP-CIMMYT research project, which is concerned with transfer of technology in homogeneous areas. The objective of the present study was to supply the above project with secondary information related to the characterization of soils where maize is grown. For soil characterization, an edaphological soil transect was planned and conducted in a representative region of the La Fraylesca region. Findings showed marked soil differences between this soil transect and a previous soil survey evaluation. The latter reported neutral soils, with pH value around 6.5-7.0, while in the soil transect, soil pH values ranged from 4.0 to 4.5. The soils observed in the region were Fluvisols, Alfisols, Acrisols and Inceptisols; these soil units were related with recent alluvial fans, terraces, and shallow and rocky land. Soil characteristics related with topography were B_{2t} horizon, soil and drainage depth.

The region is affected by acidity, percentage of Al (20%), Al content (170 ppm or higher); these findings may have a strong effect on maize yield, since the only source of N in the region is (NH₄)₂SO₄, which is applied in amounts of 1.0 ton ha⁻¹ or higher.

INTRODUCCION

En la zona sur de México existe una urgente necesidad de estudios de suelos más detallados, especialmente en aquellas áreas que presentan alto potencial para la producción de maíz de temporal, como La Fraylesca, Chiapas. Esta región se encuentra localizada a 93°-94° de longitud oeste y 16°00'-16°30' de latitud norte y ocupa una superficie de 525,880 ha; el cultivo principal de la zona, tanto económica como socialmente es el maíz (134,994 ha); el rendimiento unitario promedio obtenido en la región es de 2.67 ton ha⁻¹

* En La Fraylesca el 100% de los agricultores utiliza como fuente de N al sulfato de amonio en cantidades hasta de 1000 kg ha⁻¹; en

contraste, menos del 5% de los agricultores utiliza superfosfato triple en la superficie total (Hibón, 1984).

Además a la información anterior la encuesta exploratoria, efectuada por Hibón 1984 en campos de agricultores, detectó tres problemas potenciales como responsables de los bajos rendimientos en la región: (1) fertilidad y erosión del suelo; (2) malezas anuales y perennes gramíneas y, (3) insectos y plagas del suelo. En el primer caso en La Fraylesca, según el reporte, la eficiencia de uso del N (EUN) es de 35.0 a 43.0%, mientras que la de P (E P₂O₅) es del 31 al 39%.

En la opinión de Hibón (1984) la baja eficiencia de la fertilización, un problema hasta entonces desconocido, priva a los agricultores de obtener de sus tierras un rendimiento potencial mayor, lo cual sería posible mediante la utilización de una tecnología más apropiada a la naturaleza de sus suelos (Hibón, 1984; Pérez, 1985).

En el área se efectuó un estudio previo de reconocimiento de suelos (1:100,000) en 1979. Más recientemente se realizó otro estudio semidetallado de suelos (1:50,000), el área cubierta en el estudio fue de 47,676 ha; estos trabajos constituyeron nuestra fuente de información primaria (SARH, 1979; 1980).

Los suelos de la región fueron desarrollados de diferentes materiales, predominando los aluviales y los coluvio-aluviales (SARH, 1979); en la parte norte se observan suelos *in situ* de origen calizo, mientras que en el resto de La Fraylesca los suelos proceden de rocas metamórficas, que constituyen la Sierra Madre de Chiapas. El relieve general es ligeramente ondulado a plano (SARH, 1980).

Las texturas de los suelos varían de medias a ligeras (francas a franco arenosas); en algunos casos se encuentra una relación alta (60 a 70%) de gravas en el perfil. En general los suelos son profundos y con buen drenaje interno; el drenaje superficial es excesivo en áreas onduladas y moderado en las partes

planas. Los suelos se caracterizan por presentar pH neutro o medianamente alcalino (SARH, 1980). El estudio semidetallado (SARH, 1980) reportó cinco series de suelos, cuya superficie y porcentaje se indican a continuación:

Serie	Superficie ha	%
1. Brillante	6,117	12.83
2. Morelos	5,724	12.01
3. Parral	11,619	24.37
4. Primavera	3,304	6.93
5. Tablón	17,369	36.43
	44,133	92.6

El 7.4% restante son terrenos cerriles (3,151 ha) y al área urbana corresponden 390 ha (0.8%), lo que da un total de 47,674 ha para el área de estudio.

En general, la distribución de la precipitación tiende a ser confiable para la producción de maíz en la región, según datos promedio mensuales (Figura 1); el clima del área es húmedo tropical ($AW_2(w)(i)g$); los registros de la estación termopluviométrica de Angel Albino Corzo reportan que la media de precipitación mensual es 1284 mm; el mes más seco es febrero, y el más húmedo septiembre; la precipitación para el periodo junio a noviembre es 1015 mm y representa el 80% de la lluvia anual. La evapotranspiración anual es de 1729 mm. La temperatura media anual es de 24°C; la diferencia entre las temperaturas medias del verano y del invierno es <5°C; es una región caracterizada por ausencias de heladas. La altura sobre el nivel del mar es de 550 a 700 m. En general, la zona se caracteriza por un régimen de humedad údico y un régimen de temperatura iso-hipertérmico.

El objetivo del presente trabajo fue de proveer información secundaria de apoyo a un proyecto de Investigación en Campos de Agricultores (ICA), mediante la

caracterización de los suelos donde se cultiva maíz en La Fraylesca Chiapas, utilizando en la descripción un transecto edafológico. La hipótesis general planteada fue que el área seleccionada en el transecto es representativa de un gradiente topográfico típico de la región productora de maíz, en la cual previamente Hibón (1984) identificó dos dominios de recomendación: (1) que corresponde a los agricultores "ejidatarios" que producen maíz en su mayoría en monocultivo, en suelos con una pendiente menor al 10%, de textura limo arenosa, más erosionados y con maquinaria rentada; (2) que corresponde a pequeños propietarios, que tienen ganado y cultivan maíz en monocultivo para grano y forraje en suelos relativamente planos, arenos arcillosos menos erosionados y cuentan con su propia maquinaria.

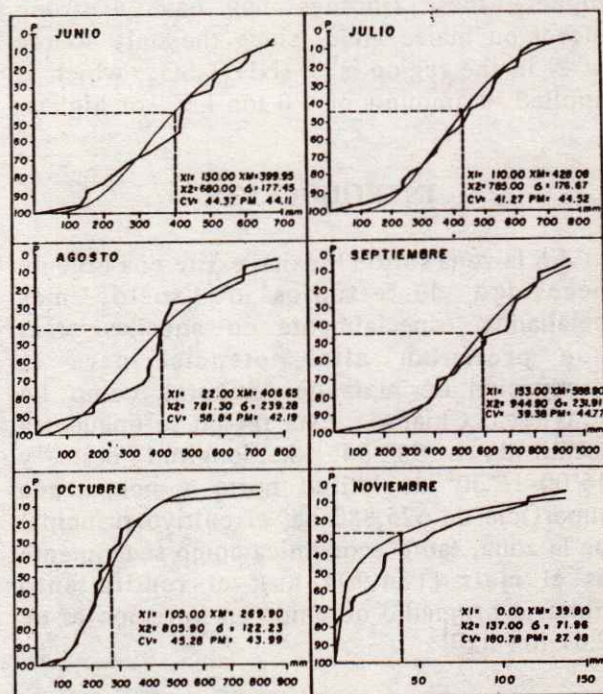


Figura 1. Precipitación y niveles de probabilidad de ocurrencia. Angel A. Corzo, Chis.

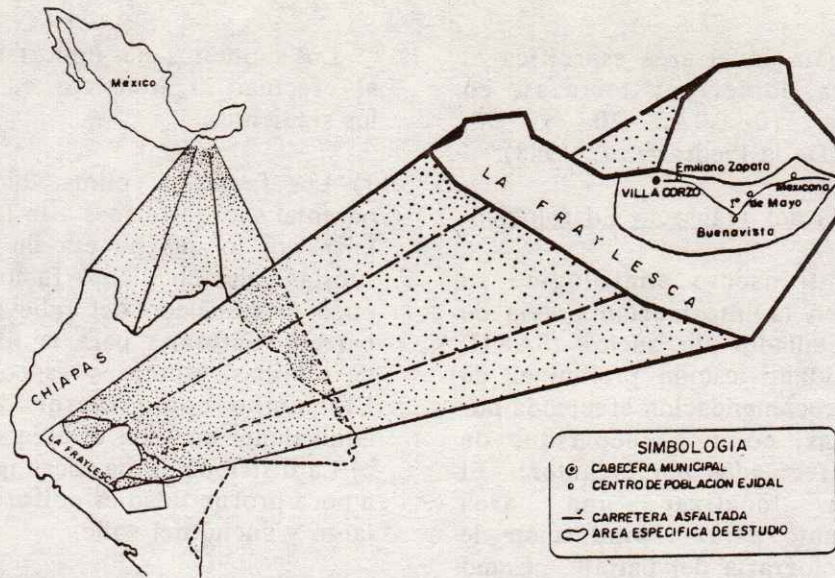


Figura 2. Area de estudio en el municipio de Villa Corzo, Chiapas.

MATERIALES Y METODOS

Area Especifica

La región llamada La Fraylesca se encuentra en la depresión central de Chiapas, aproximadamente a 600 msnm (Figura 2). En esa región del trópico subhúmedo se cultivan más de 100,000 ha de maíz durante el ciclo de primavera-verano, con un rendimiento promedio de 2.67 ton ha⁻¹. La pluviometría varía de 1100 a 1300 mm (de fines de mayo a septiembre), como se muestra en las Figuras 1, 3.1 y 3.2.

Suelos del Area

Básicamente se observan dos zonas: una de suelos planos relativamente profundos (aproximadamente 70% del área cultivada), y una área con suelos de menor profundidad y con mayor pendiente (aproximadamente 30% del área cultivada). Las series de suelo en el área de estudio (SARH, 1980) fueron denominadas como Brillante, Morelos, Parral, Primavera y Tablón. En general, los estudios de la SARH (1980) reportan que los pH de las series de suelos indicadas anteriormente varían de neutro a medianamente alcalino. La distribución fisiográfica de los suelos

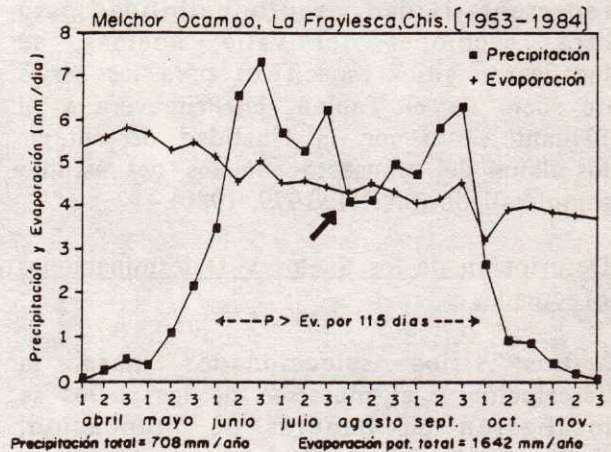


Figura 3.1. Precipitación y evaporación.

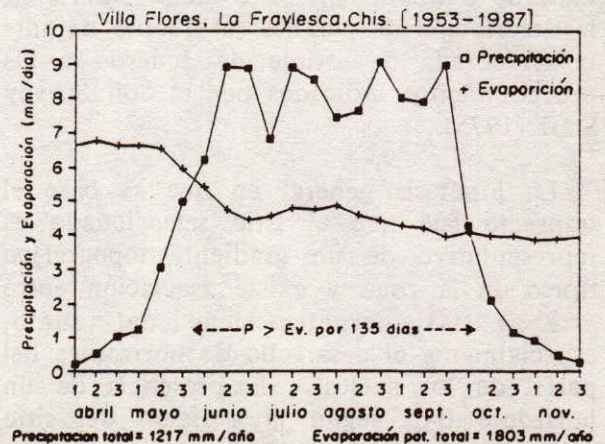


Figura 3.2. Precipitación y evaporación.

cultivados con maíz en el área específica es de vegas, ladera, lomerío y terrazas, en porcentajes de 10, 14, 20 y 56, respectivamente (De la Piedra *et al.*, 1988).

Selección del Área del Transecto Edafológico

El sitio del transecto edafológico se eligió con base en la información previa de estudios semi-detallados de suelos (SARH, 1979; 1980), la identificación preliminar de dos dominios de recomendación efectuada por Hibón (1984), así como a recorridos de reconocimiento efectuados por el autor. El propósito fue localizar una área representativa, tanto para la producción de maíz como en fisiografía del paisaje. Como resultado de esto el transecto se ubicó en la parte más amplia del valle, asumiéndose representatividad y reproducibilidad para otras secciones del valle; además, se localizaron sitios específicos para las series de suelo de el Tablón, la Primavera y el Brillante, esto con la finalidad de cotejar los datos del transecto con los del estudio semidetallado (SARH, 1979; 1980).

Descripción de los Suelos y Determinaciones Efectuadas

Los sitios seleccionados para la descripción y el muestreo de los suelos se localizaron en llanuras de inundación, terrazas y lomeríos; un factor esencial para la elección fue que estuviese cultivado con maíz de temporal en ese o ciclos anteriores; la descripción de perfiles se efectuó durante la temporada de estiaje de acuerdo a los procedimientos indicados por el Soil Survey Staff (1975).

La hipótesis general en que se basó el transecto fue que el sitio seleccionado es representativo de un gradiente topográfico típico de la zona y existe asociación entre éste y las características del suelo, especialmente el desarrollo de horizontes del perfil de los suelos y la presencia de un horizonte B_{2t}, según la posición del sitio topográfico.

Los supuestos más importantes considerados al efectuar al transecto edafológico fueron los siguientes:

- 1) Los factores clima, biótico y material parental son uniformes a lo largo del área (30 km), por lo que no era de esperar cambios substanciales en dichos factores, debido a lo poco pronunciado del relieve: a) No existen barreras naturales para la libre diseminación de semillas, esporas y especies de fauna. b) El tiempo como factor determinante es equivalente en toda el área de La Fraylesca. c) La distribución de rocas ígneas expuestas o a poca profundidad es uniforme en la zona a lo largo y ancho del valle.
2. El efecto del hombre en el manejo de los suelos y de la vegetación se presume constante.
3. La expresión de microvariabilidad de suelos depende del grado de relieve dominante en la región.

En los sitios seleccionados, llanura de inundación, terrazas y lomeríos se excavaron perfiles hasta de 2 m de profundidad, donde fue posible, o bien hasta tener contacto con roca o material endurecido. La descripción de nueve perfiles se efectuó conforme a las especificaciones del Soil Conservation Service (1981); cada descripción incluyó información sobre geología, topografía, permeabilidad, drenaje y riesgos de erosión, indicándose la secuencia, profundidad y transición de horizontes, color (usando el libro de color Munsell), textura al tacto (Pérez, 1988), consistencia, estructura y presencia de películas de arcilla, concreciones y pedregosidad.

En seis de los perfiles se tomaron muestras de suelos de cada uno de los horizontes identificados, considerándose que los tres perfiles restantes presentaban características similares al resto. Se efectuaron análisis seleccionados, independientes, en dos laboratorios, CIMMYT y Cotaxtla (INIFAP). La materia orgánica se determinó por el método de

Walkley y Black modificado (Black, 1965). El pH fue medido con un electrodo de vidrio en una suspensión suelo-agua 1:2 y con CaCl₂ 0.1M y KCl 1.0M en relación suelo-suspensión 1:2. Las bases intercambiables se extrajeron con acetato de amonio 1N a pH 4.8 y se analizaron por absorción atómica. Los nitratos se extrajeron con sulfato de cobre 0.02N y se analizaron por electrodo específico. Mediante tratamiento al suelo con exceso de ácido y titulación por retroceso del ácido sobrante se determinó el CaCO₃. La CIC se determinó por el método del BaCl₂ y del acetato.

RESULTADOS Y DISCUSION

Debido a la gran variabilidad de circunstancias de los agricultores (Hibón, 1984) y la falta de evidencia confiable en cuanto a la importancia y naturaleza de los suelos reportados (SARH, 1979; 1980) en el estudio semidetallado, resultó difícil la definición y confirmación de dominios de recomendación previamente establecidos por Hibón (1984). Además, los resultados del transecto edafológico mostraron diferencias substanciales entre éste y el estudio de la SARH (1980), así como en características edáficas, especialmente pH, las cuales definitivamente tienen implicación en cuanto a

la calidad del recurso, el manejo del suelo y la productividad del cultivo de maíz.

Transecto de Suelos.

Los suelos observados en el transecto edafológico (Figura 4) son Fluvisoles, Luvisoles, Acrisoles e Inceptisoles. El 60% de la superficie del valle es ocupado por suelos profundos, lo cual es congruente con los reportes de Hibón (1984) y de De la Piedra *et al.* (1988).

Como puede observarse en la Figura 4, existe a corta distancia del río gran variación entre suelos, sus características físico-químicas y desarrollo del perfil; esto se relacionó con la fisiografía del terreno. Además, a esta circunstancia hay que agregarle la gran variabilidad de circunstancias socioeconómicas de los agricultores (Hibón, 1984), lo cual puede complicar una rápida definición de los dominios de recomendación (DR).

Entre las características más relevantes asociadas con el relieve, tanto en profundidad como en distancia horizontal, se tiene a el drenaje, desarrollo de horizontes y textura del suelo; a continuación se describen los aspectos más relevantes.

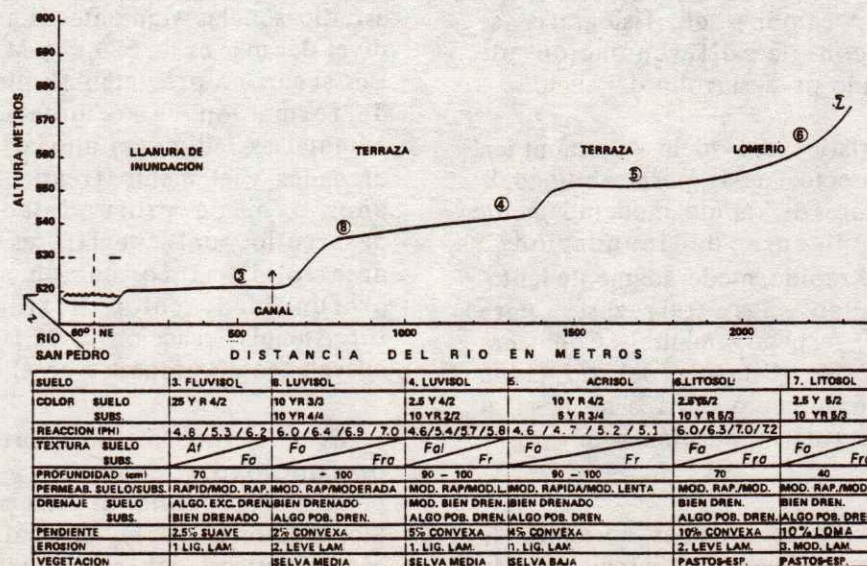


Figura 4. Transecto de la margen derecha del río San Pedro Buenavista, Chiapas.

Con relación a drenaje se observó un gradiente asociado con la posición topográfica del suelo en el transecto; de tal manera que los suelos localizados en llanura de inundación y terrazas, próximos a esta llanura, mostraron buen drenaje. En contraste, en los sitios ubicados en la terraza 2 (Figura 4), el drenaje del subsuelo resultó "algo pobremente drenado" (SCS, 1981). Por esta situación son de esperar problemas de drenaje en las terrazas.

La información sobre textura y otras observaciones del perfil hechas durante el estudio morfológico se muestra en la Figura 4. En todos los casos, el contenido de arcilla aumentó con la profundidad del suelo; la variación observada fue del orden del 15% en el horizonte B_{2t} ; en la llanura de inundación el contenido de arena en A_p fue del 10%, mientras que en terrazas y lomeríos fue del 15%.

Se observó asociado con la posición topográfica ocupada por el suelo el desarrollo de un horizonte B_{2t} argillico; en consecuencia, la acumulación de arcilla en el subsuelo se incrementó al aumentar la distancia del sitio muestreado al río; de esta manera, la textura varió de franco arenosa a franco arcillo arenosa y franco arcilloso a medida que la distancia del río se incrementó. En síntesis, los cambios en fisiografía se relacionaron con la diferenciación de horizontes y grado de desarrollo del suelo.

Otra característica del suelo que también varió en el transecto fue la permeabilidad, la cual presentó valores de "rápido/moderadamente rápido" en la llanura de inundación a "moderadamente rápido/moderadamente lento" (SCS, 1981) en las terrazas, para "suelo/subsuelo", respectivamente. Como era de esperar, a corta distancia del río (1400 m), la pendiente aumentó del 2% al 10%, al pasar de la llanura de inundación a terrazas y lomeríos.

En general, bajo condiciones normales de manejo de suelos, el riesgo de erosión en la zona es mínimo; durante la mayor parte del

año, el suelo se encuentra permanentemente cubierto con mantillo vegetal, esto se explica por la humedad prevaleciente en la región (Figura 1 y 3).

En síntesis, como resultado del estudio, se observó que existe gran variación en los suelos a cortas distancias del río (Figura 4); sin embargo, esta variabilidad fue posible detectarla y expresarla cuantitativamente mediante la descripción e interpretación edafológica. De tal manera, que en el área se observan llanuras de inundación, terrazas, lomeríos y terrenos cerriles, en los cuales se pueden identificar y separar suelos con diferente potencial agrícola para la producción de maíz. En la llanura de inundación se localizan fluvisoles, en las terrazas luvisoles y acrisoles y en los lomeríos y cerriles litosoles.

Llanura de Inundación.

La superficie de maíz de temporal ubicada en Vegas es el 10% del total (De la Piedra *et al.*, 1988); estos suelos de Vega se relacionan con Fluvisoles (FAO/UNESCO), y se caracterizan por carecer de horizontes de diagnóstico. El perfil descrito en el transecto se relacionó con la serie Tablón del estudio de la SARH (1980). Algunas de las características observadas en el sitio de estudio son las siguientes: La altura sobre el nivel del mar es de 520 m y la pendiente 2.5%. Los suelos no presentan alcalinidad y su modo de formación es secundario. El material parental es sedimento aluvial; son suelos bien drenados y el manto freático se encuentra a unos 5 m de profundidad; el grado de desarrollo del perfil es tipo I (sin desarrollo). Información adicional sobre profundidad, color, textura, estructura, consistencia, reacción (pH) HCl y H_2O_2 , y misceláneos se muestra en el Cuadro 1.

Con la información anterior, textura, profundidad, pendiente y desarrollo del perfil, se procedió a calcular el índice de Storie (Storie, 1961), el cual se basa en las características del suelo que gobiernan el potencial de utilización de la tierra y su

Cuadro I. Características del suelo observadas en el sitio 3, localizado en la llanura de inundación del transecto edafológico. La Fraylesca, Chiapas.

Profundidad cm	Horizonte	Color	Textura	Estructura	Consistencia	Reacción	Misc: raíces
0	Ap	2.5Y 6/4	Af	l. granular fina	no coherente no friable no pegajosa no plástica	pH: 4.8 No reacción HCl ni H ₂ O ₂	Abundantes y finas
15	A ₁		Fa	Sin estructura	no coherente no friable no pegajosa no plástica	pH: 5.3 No reacción HCl ni H ₂ O ₂	Comunes y finas
30	C	Banda de color muy oscuro de 2.5 cm de espesor; probablemente deposición y descomposición de productos orgánicos; color 10YR 3/2.					
60	C	De esta profundidad hacia abajo se presentan bandas alternadas de arena y sedimentos de textura Af o Fa de 5-8 cm de espesor. Esto muestra el proceso de deposición de sedimentos en la llanura de inundación.					
80	C						

capacidad productiva, y puede considerarse como una metodología y una herramienta simple, pero eficiente para clasificar y compensar el potencial de uso de varios suelos, así como para orientar sobre las limitaciones de producción a tener en una área dada. Es conveniente señalar que el índice es independiente de otros factores físicos y económicos que pudieran determinar la posibilidad de ciertos cultivos en una determinada localidad. Por otra parte, no se pretende en el presente trabajo, entrar en detalle sobre la metodología para la estimación del índice, para lo cual se recomienda remitirse a la referencia original (Storie, 1961). Sin embargo, para propósitos de ilustración se ampliará sobre algunos de los factores considerados en el cálculo del índice en el transecto edafológico.

Índice de Storie (IS) = Factor A x Factor B x Factor C x Factor "X"

En la fórmula anterior, A corresponde al desarrollo del perfil, B a la textura del suelo, C a la pendiente del sitio y "X" es un factor adicional, que puede ser drenaje, alcalinidad, fertilidad, acidez, erosión o el

microrelieve del terreno. En el caso de los fluvisoles de la llanura de inundación el índice de Storie resultó tener un valor del 76%; los principales factores de demérito fueron la textura arenosa y el *status* nutricional (acidez). Como referencia Storie (1961) asigna valores del 80 al 100% para suelos excelentes, del 60 al 79% para suelos buenos, del 40 al 59% para suelos regulares, del 20 al 39% para suelos pobres, del 10 al 19% para suelos muy pobres y para suelos no agrícolas, por ejemplo áreas inundables con alcalinidad o áreas quebradas muy accidentadas, el valor es menor del 9%.

Terrazas.

La superficie ocupada por maíz en las terrazas es del 56% (De la Piedra *et al.*, 1988). De éstas se observaron dos terrazas sucesivas (Figura 4) en las cuales se describieron tres perfiles de suelos, que correspondieron a los sitios 8, 4 y 5; los dos primeros resultaron Luvisoles, mientras que el 5 es Acrisol.

El perfil 8 se ubicó al inicio de la primera terraza (Figura 4); en este sitio la

altura es de 530 msnm, la pendiente del 2%, la erosión laminar en grado leve (2), no se observó manto freático cerca de la superficie; el modo de formación del suelo es secundario, de material parental constituido por sedimentos aluviales. El grado de desarrollo del perfil correspondió al tipo II, que son suelos que muestran un desarrollo moderado del perfil, ubicados en abanicos aluviales jóvenes, llanuras de inundación u otros depósitos secundarios. Otras características del perfil 8 se indican a continuación:

La información del Cuadro 2 se utilizó para estimar el índice de Storie, el cual fue del 90%; sin embargo, cabe hacer mención que en éste no se incluyó aún el factor de demérito relacionado con acidez; esto debido a que se hará mayor énfasis sobre esto en el apartado sobre características químicas.

Por lo que respecta al perfil 4 (Cuadro 3), éste corresponde a un suelo con desarrollo de tipo II, la elevación es de 542 msnm; la

pendiente es del 5%, con buen drenaje, el manto freático no se observó; sin problemas de alcalinidad; el modo de formación es secundario y el material parental aluvial. La temperatura media anual es de 24°C y la precipitación de 1284 mm, mientras que la evaporación es de 1729 mm. El suelo descrito en el perfil 4 se relaciona con luvisoles. El índice de Storie del suelo es del 86.0%.

El perfil 5 (Cuadro 4) se localizó en el sitio denominado Las Marias en la segunda terraza del transecto; la elevación es de 550 msnm, la pendiente de 4%, la erosión es ligeramente laminar y no se observó el manto freático; el drenaje es bueno; no presenta problemas de alcalinidad; el modo de formación es secundario y el material parental es aluvial. La temperatura media anual es de 24.0°C, la precipitación es de 1284 mm y la evaporación de 1729 mm. El grupo de perfil se clasifica como III, o sea, suelos que tienen perfiles moderadamente desarrollados (subsuelos moderadamente densos), ubicados en

Cuadro 2. Características del suelo observadas en el sitio 8, localizado en terrazas del transecto edafológico. La Fraylesca, Chiapas.

Profun- didad	Hori- zonte	Color	Textura	Estructura	Consistencia	Reacción	Misc: Raíces, poros, película de arcilla, concreciones
0	Ap	10YR 3/3Fa:franco 10YR 2/2 arenosa		2.sbk media	Muy dura Friable Lig. pegajosa Lig. plástica	pH: 6.0 No reacción HCl ni H ₂ O ₂	Raíces: abundantes y finas. Poros: abundantes, medios y caóticos
30	B ₂₁	10YR 4/4 Fra 10YR 3/4		3.sbk media a gruesa	Muy dura Friable Lig. pegajosa Lig. plástica	pH: 6.4 No reacción HCl ni H ₂ O ₂	Raíces: comunes y finas. Poros: abun- dantes, medios, vertic. tubulares
55	B ₂₂	10YR 5/6Fa 10YR 4/6		2.sbk media	Muy dura Friable No pegajosa No plástica	pH: 6.9 No reacción HCl ni H ₂ O ₂	Raíces: pocas y fi- nas. Poros: comunes, finos y caóticos
100	B _{2t}	10YR 4/4 Frl 10YR 3/4		3.sbk gruesa	Extremadament dura Friable Lig. pegajosa Plástica	pH: 7.0 No reacción HCl ni H ₂ O ₂	Raíces: pocas y fi- nas. Poros: pocos, finos y caóticos
145		Arena					

llanuras de inundación formados en abanicos aluviales antiguos, que presentan un horizonte B_{2t}. No se observó reacción al HCl ni al H₂O₂. El índice de productividad de Storie estimado fue del 84.0%, siendo el principal factor de demérito la presencia de horizontes endurecidos (B_{2t}).

Ladera y Cerril.

La superficie ocupada por maíz en ladera es del 14.0% y del 20.0% en lomeríos (De la Piedra *et al.*, 1988). Los perfiles descritos en estas condiciones son el número 6 y 7, los cuales se relacionan con litosoles (Inceptisoles); presentan contacto paralítico

a menos de 15 cm de profundidad. En ambos sitios la precipitación, evaporación, y temperatura media anual son de 1284 mm, 1729 mm y 24.0°C, respectivamente; la vegetación natural es selva baja disturbada y pastos. En ambos casos, el grupo de perfil es del tipo VII, que corresponde a suelos ubicados en regiones cerriles, descansando sobre lechos endurecidos o rocosos de materiales ígneos y poca profundidad de la superficie.

Otras características que resultaron similares para ambos sitios, son el manto freático, drenaje, alcalinidad y modo de formación, los cuales fueron no apreciables,

Cuadro 3. Características del suelo observadas en el sitio 4, localizado en terrazas del transecto edafológico. La Fraylesca, Chiapas.

Profundidad	Horizonte	Color	Textura	Estructura	Consistencia	Reacción	Misc: Raíces, poros, película de arcilla, concreciones
0	Ap	2.5Y 4/2 10YR 3/2	Fal: franco arenoso	2.5bk fina a media	Mod.dura a durap Friable No pegajosa No plástica	pH: 4.6 No reacción HCl ni H ₂ O ₂	Raíces: abundantes y finas. Poros: abundantes, y caóticos
10	B ₂₁	10YR 2/2 10YR 2/1	Fr: franco arcilloso	2.5bk media	Lig.dura Friable Lig. pegajosa Lig. plástica	pH: 5.6 No reacción HCl ni H ₂ O ₂	Raíces: abundantes y finas. Poros: Abundantes, med. caóticos. Películas de arcilla.
30	B _{2t}	Manchas de color 5YR 4/6 rojas de 2 mm de diámetro, comunes en la parte superior y abundantes en la parte inferior	7.5YR 3/2 Rl: arcillo húmedo limosa	3.sbk media a gruesa	Lig.dura Friable Lig. pegajosa Lig. plástica	pH: 5.7 No reacción HCl ni H ₂ O ₂	Raíces: no. Poros: pocos, finos y verticales. Películas de arcilla, concreciones: Lig. reac. H ₂ O ₂
60	C	10YR 4/6 húmedo	Fra: franco arcillo arenoso	1.sbk fina a media	Lig.dura Friable Lig. pegajosa Lig. plástica	pH: 5.8 No reacción HCl ni H ₂ O ₂	Raíces: no. Poros: abundantes, medios y verticales. Pocas películas de arcilla
90		10YR 5/6	Fa	Masiva			

bueno, alcalino y primario, respectivamente. El material parental en los perfiles 6 y 7, está compuesto por rocas ígneas intrusivas y feldespatos de cuarzo, respectivamente.

Características adicionales del perfil 6 se muestran en el Cuadro 5. La profundidad efectiva es menor de 15 cm, presentando 60 a 70% de grava por volumen a las profundidades de 15-30 y 30 a 70, respectivamente. El horizonte C consiste de material ígneo altamente intemperizado. La textura varía con la profundidad de Fa a Fra. El perfil se localiza a 560 msnm y a 250 m de distancia del perfil 5 (terracea).

El perfil 7 se localizó a 350 m del perfil 5 que correspondió a terracea (Figura 4). La pendiente es del 12%, la altura de 570 msnm y el grado de erosión es 3, moderadamente

laminar (Soil Survey Staff, 1985). Características específicas de este perfil 7 se muestran en el Cuadro 6. La profundidad del perfil es menor a 10 cm; a 15 cm de la superficie se presenta un material ígneo altamente intemperizado. Los colores de suelo y subsuelo son iguales a los del perfil 6. El volumen de grava por volumen de suelo es del 60% a la profundidad de 10 a 15 centímetros. La textura es igual a la del perfil 6: franco arenoso y franco arcilloso para las profundidades de 0-5 y 10-15 cm, respectivamente. De igual manera que en el resto de los sitios del transecto no se observó reacción al HCl ni a la adición de H_2O_2 . A poca profundidad, en ambos perfiles 6 y 7, se observaron concreciones (Cn) de color blanco que no reaccionaron a la adición de HCl ni al H_2O_2 .

Cuadro.4. Características del suelo observadas en el sitio 5, localizado en la segunda terracea del transecto edafológico. La Fraylesca, Chiapas.

Profundidad cm	Horizonte	Color	Textura	Estructura	Consistencia	Reacción	Misc: Raíces, poros, película de arcilla, concreciones	
0	Ap	10YR 4/3Fa:franco 10YR 2/2arenoso		2.Granular fina-media	Débil Friable Lig. pegajosa Lig. plástica	pH: 4.6 No reacción HCl ni H_2O_2	Raíces: abundantes, medias y gruesas. Poros: abundantes, finos, medios y caóticos	
10	B _{2t}	5YR 3/4F:franco 5YR 3/3arcilloso		2.5bk media gruesa	Muy dura Firme Lig. pegajosa Lig. plástica	pH: 4.7 No reacción HCl ni H_2O_2	Raíces: abundantes y finas. Poros: pocos, finos y caóticos.	
20	B ₂₂	2.5YR 4/8 Frl:franco 2.0YR 3/6 arcillo- limoso		1.sbk fina- media	Lig.dura Friable Lig. pegajosa Lig. plástica	pH: 5.2 No reacción HCl ni H_2O_2	Raíces:pocas y fi- nas. Poros: pocos, finos, verticales. Películas de arci- lla en los poros. Concreciones de cuarzo redondeadas	
40	B ₂₃	2.5YR 4/8 Fra:franco 2.5YR 4/6 arcillo- arenoso		1.sbk fina- media	Débil Friable Lig. pegajosa Lig. plástica	pH: 5.1 No reacción HCl ni H_2O_2	Raíces:raras y fi- nas. Poros: pocos, tubulares y verti- cales. Películas de arcilla en los poros	
90		Pedregosidad (2.5 mm de diámetro) observada en este horizonte, se incrementó con la profundidad.						

Los índices de Storie estimados en los perfiles 6 y 7 fueron del 36.0 y 19.0%, respectivamente. Los suelos ubicados en el rango del 20 al 39% en la escala de Storie son considerados pobres en potencial productivo, ya que tienen rangos muy estrechos en cuanto a sus posibilidades agrícolas, mientras que los suelos ubicados en el rango del 5 al 19.0% (perfil 7) son conocidos por su bajo potencial productivo, y resultan de uso limitado, excepto para pasturas, en virtud de sus condiciones adversas de profundidad, cerril o escarpado. En síntesis, ambos sitios ofrecen limitadas posibilidades para la producción de maíz de temporal, ya que el suministro de agua al cultivo dependerá de las recargas sucesivas del perfil del suelo para poder suministrar el agua necesaria al cultivo.

Características químicas del transecto.

Los suelos de La Fraylesca presentan condiciones físicas favorables para el cultivo de maíz de temporal, dada la precipitación (Figuras 1 y 3), el drenaje (Figura 4) y la profundidad (más del 60% de los suelos del área son profundos; Hibón, 1984). En la Figura 1 se puede observar que en las épocas de mayor demanda de agua del cultivo (julio, agosto, septiembre) existe buena probabilidad de contar al menos con 200 ó 250 mm de precipitación. En cuanto a las características edáficas, los suelos que ofrecen el mayor potencial productivo son Fluvisolés, Luvisoles y Acrisoles, ya que mostraron los mayores valores de índices de productividad de Storie; en contraste, los

Cuadro 5. Características del suelo observadas en el sitio 6, localizado en laderas-cerriles del transecto edafológico. La Fraylesca, Chiapas.

Profundidad	Horizonte	Color	Textura	Estructura	Consistencia	Reacción	Misc: Raíces, poros, película de arcilla, concreciones
0	A ₁	2.5Y 5/2 10YR 3/2arenoso	Fa:franco	1.sbk fina	Lig. dura Friable No pegajosa No plástica	pH: 6.0 No reacción HCl ni H ₂ O ₂	Raíces: abundantes, finas a medias. Poros: medios y caóticos.
5	B ₂	10YR 5/3 10YR 3/2arcilloso arenoso	Fra:franco	1.sbk fina	Blanda Friable No pegajosa No plástica	pH: 6.3 No reacción HCl ni H ₂ O ₂	Raíces: abundantes, medias a gruesas. Poros:pocos, medios, redondos, caóticos. Cn: pocas color blanco, finas y sin reacción HCl ni H ₂ O ₂
15		Grava:60-70%		1.sbk gruesa	Blanda Friable No pegajosa No plástica	pH: 7.0 No reacción HCl ni H ₂ O ₂	Raíces:comunes, finas a medias. Poros pocos, tub.,caóticos Cn:abundantes, medias, blancas. Sin reacción HCl ni H ₂ O ₂
30				Granos simples sin agregación			
70							

El horizonte C consiste de material ígneo altamente intemperizado

suelos localizados en laderas y cerriles (Litosoles) no tienen condiciones favorables para el cultivo de maíz, en especial por la baja retención de agua en el perfil, la cual se encuentra limitada por la profundidad (<15 cm), así como por la naturaleza de su textura: franco arenosa.

El potencial productivo descrito en el párrafo anterior resulta aparente, ya que falta complementar la información obtenida con análisis químicos y físico-químicos (pH) de cada uno de los perfiles del transecto edafológico. Los análisis químicos determinados y reportados en el presente estudio se encuentran en discrepancia con los reportados en estudios previos (SARH, 1979; 1980); estos estudios reportan en el área pH neutros a ligeramente alcalinos, mientras que los observados en el presente estudio resultaron con una franca reacción ácida. En virtud de lo encontrado, los análisis se enviaron y corrieron en dos laboratorios

diferentes, CIMMYT e INIFAP-Cotaxtla; ambos laboratorios corroboraron los resultados de pH obtenidos en el transecto de suelos.

En el Cuadro 7 se muestran las propiedades químicas de los suelos descritos en el transecto edafológico. En dicho cuadro se observa que la mayoría de los valores de pH del horizonte superficial se encuentra alrededor de 5.0. Los rangos de pH indican que es de esperar un posible daño a las plantas debido a la concentración de aluminio, o al menos, serían de esperar problemas nutricionales o de deficiencias relacionadas con P. Esta situación pudiera ser indicativa de un problema mayor que pueda, eventualmente, convertirse en un factor limitante del potencial productivo de los suelos de La Fraylesca.

En cuanto a los niveles de materia orgánica (MO) se observó gran variabilidad en los horizontes superficiales. En general, los

Cuadro 6. Características del suelo observadas en el sitio 7, localizado en laderas-cerriles del transecto edafológico. La Fraylesca, Chiapas.

Profundidad	Horizonte	Color	Textura	Estructura	Consistencia	Reacción	Misc: Raíces, poros, película de arcilla, concreciones
0	A ₁	2.5Y 5/2 10YR 3/2	Fa	l.sbk fina	Lig. dura Friable No pegajosa No plástica	pH: 6.0 No reacción HCl ni H ₂ O ₂	Raíces: abundantes y finas-medias. Poros: medios y caóticos.
5	B ₂	10YR 5/3 10YR 3/2	Fra	l.sbk fina	Blanda Friable No pegajosa No plástica	pH: 6.2 No reacción HCl ni H ₂ O ₂	Raíces: abundantes, medias a gruesas. Poros: pocos, medios, redondos, caóticos. Cn: pocas, color blanco cristalino. Sin reacción HCl ni H ₂ O ₂
10	C		60-70% grava/volumen	l.sbk gruesa	Blanda Friable No pegajosa No plástica	pH: 7.0 No reacción HCl ni H ₂ O ₂	Raíces: comunes, finas a medias. Poros: pocos, tub., caóticos. Cn: abundantes, medias, blancas. Sin reacción HCl ni H ₂ O ₂
15							Material ígneo altamente intemperizado.

niveles de MO encontrados resultaron de pobre a mediano, con excepción de los sitios 6 y 7 que se encontraron cubiertos de bajo pastizal. Tal como era de esperar, la MO decreció con la profundidad; algunos suelos (perfil 3) parecen tener tendencia a perder la MO a una velocidad de oxidación más rápida que otros, como puede inferirse de los datos registrados. Estas altas tasas de oxidación de la MO están acordes con la literatura (Lugo-López *et al.*, 1979). En consecuencia se debe tener en consideración este factor para planear un uso más eficiente del suelo.

Los contenidos de P variaron de mediano a rico y a extremadamente rico; al igual que la MO tienden a decrecer (70-80%) con la profundidad del suelo. Los contenidos de Mg variaron de rico a extremadamente rico, con

excepción del sitio 5, en el que resultó medianamente pobre (17.4 ppm).

El porcentaje de saturación de bases (PSB) es mayor al 60% en los sitios 6, 7 y 8; sin embargo, en el horizonte superficial del sexto es de 30%, y en el caso del sitio 5 es muy bajo (9.6%). El porcentaje de saturación de bases tiende a incrementarse con la profundidad, de esta manera se observaron incrementos del 38%, 24%, 19% para los sitios 3, 4 y 5 en el subsuelo con respecto al horizonte superficial.

Los contenidos de aluminio variaron grandemente, de 170 ppm o más para los sitios 3, 4, 5 a menos de 2.0 ppm en los sitios 6, 7 y 8. El porcentaje de saturación de aluminio decreció con la profundidad y presentó valores

Cuadro 7. Propiedades químicas de suelos seleccionados de La Fraylesca, Chiapas, 1984.

Suelo	Horizonte	Profundidad cm	pH (1:2 H ₂ O)	MO %	CIC meq 100 g ⁻¹	Satur.	P	Al	Satur
						Bases %	Bray-1 ppm	inter. ppm	Al %
Fluvisol (3)	Ap	0-15	4.8	1.04	9.6	30.6	46.7	171.0	19.8
	A ₁	15-30	5.3	0.76	10.7	68.1	12.0	41.2	4.2
	C	30-60	6.2	0.06	5.4	97.6	4.1	1.9	0.4
	C	60-80	6.0	----	----	----	----	----	----
Luvisol (8)	Ap	0-30	6.0	1.84	12.4	72.7	16.1	1.2	0.1
	B ₂₂	30-55	6.4	0.54	12.8	76.4	25.7	1.2	0.1
	B ₂₂	55-100	6.9	0.14	12.8	81.5	40.9	0.7	0.4
	B _{2t}	100-145 > 145	7.0 ---	0.12 ----	18.7 ----	89.8 ----	58.2 ----	0.2 ----	0.3 ----
Luvisol (4)	Ap	0-10	4.6	2.55	20.2	31.6	18.2	205.0	11.2
	B ₂₁	10-30	5.6	1.91	19.4	55.0	3.2	21.0	1.2
	B _{2t}	30-60	5.7	0.74	16.1	68.8	0.7	16.0	1.1
	B ₂₃	60-90	5.8	0.27	14.6	80.5	0.8	14.1	1.1
	C	> 90	6.0	0.13	12.8	78.8	3.6	13.2	1.1
Acrisol (5)	Ap	0-10	4.6	2.34	12.2	9.6	8.7	272.9	24.8
	B _{2t}	10-20	4.7	2.20	12.3	20.3	0.7	225.6	20.4
	B ₂₃	20-40	5.2	1.37	11.6	40.3	0.5	49.9	4.8
	B ₂₃	40-90	5.1	0.42	9.5	44.6	1.0	48.6	5.7
		> 90	---	----	----	----	----	----	----
Litosol (6)	A ₁	0-5	6.0	5.18	19.0	64.9	6.6	1.4	0.01
	B ₂	5-15	6.3	2.78	12.2	66.6	3.1	0.8	0.07
	B ₂	15-30	7.0	1.91	8.8	85.6	3.0	0.1	0.01
	--	30-70	6.2	0.77	9.5	67.3	1.5	8.0	0.93
Litosol (7)	A ₁	0-5	6.0	5.00	18.0	65.0	6.0	1.0	0.01
	B ₂	5-10	6.2	2.00	12.0	66.0	3.0	0.8	0.07
	C	10-15	7.0	1.90	8.0	85.6	3.0	0.1	0.01

de 19.8, 11.2 y 24.8% en la capa superficial en los sitios 3, 4 y 5, respectivamente; este último sitio mostró los mayores porcentajes de aluminio intercambiable.

Como ha podido observarse de los resultados obtenidos y presentados en esta sección del trabajo, el problema clave que limita la expresión total de los recursos es químico. El porcentaje de aluminio intercambiable en algunos suelos de la zona es del 20, y de acuerdo con Sánchez (1976) este porcentaje puede constituir un problema que abate los rendimientos de maíz en el orden del 20 al 30%.

El problema de acidez en La Fraylesca puede acelerarse y recrudecerse por la cantidad y tipo de fertilizante utilizado en la zona (Hibón, 1984), la magnitud del problema es variable, ya que la única fuente disponible en la región es el sulfato de amonio, el cual se utiliza hasta en cantidades de 1.0 ton ha^{-1} , y parece ser de mayor consideración en el sitio 5 (Las Marías) con valores de 24.8 a 20.4% de saturación de aluminio intercambiable en el horizonte superficial, que en el resto de las localidades.

CONCLUSIONES

1. La Fraylesca presenta condiciones físicas del suelo y clima favorables para la producción de maíz de temporal; sin embargo, las características químicas de los suelos son factores clave que afectan dicho potencial productivo en la región.
2. El transecto edafológico permitió estimar el potencial productivo de los suelos del área, detectar el problema de acidez, el cual no fue reportado en levantamientos previos de suelos efectuados en la región, y caracterizar a los suelos principales donde se cultiva maíz en La Fraylesca, Chiapas.
3. El factor químico, acidez y porcentaje de saturación de aluminio son los factores limitativos más importantes de los suelos de la región.
4. La información del transecto puede utilizarse en la planeación y reenfoque de la experimentación, validación de tecnología y para lograr incrementos y estabilización de la producción de maíz de temporal en la región.

LITERATURA CITADA

BLACK, C.A. (ed) 1965. Methods of soil analysis. *Agronomy* 9: 371-390.

DE LA PIEDRA C., J.L. JIMENEZ, W. LOPEZ B., H. HIBON y B. TRIOMPHE. 1988. Investigación adaptativa en campos de agricultores: El caso de La Fraylesca, Chis., México. Taller: Investigación Adaptativa en Campos de Agricultores. CIFAP-Chis., CIMMYT y CIRAD. Tuxtla Gutiérrez, Chis. 19-23 septiembre 1988.

HIBON, A. 1984. Investigación en campos de agricultores. Primer Curso de Orientación para Aspirantes e Investigadores del INIP, INIF e INIA. La Calera, Zacatecas, México.

LUGO-LOPEZ, M.A., E. HERNANDEZ y G. ACEVEDO. 1979. Response of some tropical soils and crops of Puerto Rico to applications of lime. *Puerto Rico Agr. Exp. Sta. Tech. paper* 28.

PEREZ Z.O. 1985. Estrategias de investigación en suelos arcillosos del trópico Mexicano. Taller sobre Investigación en Sistemas de Producción de la Zona Sur. Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas. Oaxaca, Oax. 7-8 febrero 1985.

PEREZ, Z.O. 1988. Determinación de textura al tacto. Folleto informativo del CIFAP-Colima. Mimeógrafo. INIFAP, SARH, México.

SANCHEZ, P.A. 1976. Properties and management of soils in the tropics. John Wiley and Sons, New York. 618 p.

SARH. 1979. Estudio agrológico semidetallado del Proyecto La Fraylesca, municipio de Villa Flores, Chis. Comisión del Río Grijalva. Residencia Regional de Agrología de Tuxtla Gutiérrez, Chis. México.

SARH. 1980. Estudio agrológico semidetallado del Proyecto La Fraylesca II, municipio de Villa Corzo y Villa Flores, Chis. Comisión del Río Grijalva. Residencia de Agrología de Tuxtla Gutiérrez, Chis. México.

SOIL CONSERVATION SERVICE. 1981. Examination and description of soils in the

field. Soil Survey Manual 430-V-SSM. US Government-Printing Office, Washington, DC.

SOIL SURVEY STAFF. 1975. Soil taxonomy: a basic system of soil classification for making and interpreting soil surveys. Agric. Handb. 436, USDA, US. Government Printing Office, Washington, DC.

STORIE, E.R. 1961. Revision of the soil-rating chart. University of California, Agricultural Experiment Station Berkeley, California.

**LIMITANTES DE LA PRODUCCION DE MAIZ DE TEMPORAL EN
LA FRAYLESCA, CHIAPAS: II. FACTORES QUIMICOS DEL SUELO
QUE AFECTAN EL DESARROLLO Y PRODUCCION DEL CULTIVO**

Maize Yield Constraints in La Fraylesca, Chiapas:
II. Soil Chemical Factors that Affect Crop Yield

Octavio Pérez-Zamora

CIFAP-Colima. Apartado Postal 104, 28000 Colima, Col.

Palabras Clave: Transecto, Fijación de fósforo, Requerimiento de encalado, Porcentaje de saturación de Al.

Index words: Transect, P fixing, Lime requirement, Al saturation porcentage.

RESUMEN

Las diferencias observadas entre los resultados obtenidos en un transecto y en estudios previos de reconocimiento en La Fraylesca, Chiapas, motivaron el obtener información adicional en la región. El objetivo del presente trabajo fue caracterizar las principales series de suelos, estimar la extensión del problema de acidez, así como observar el efecto de este factor sobre la producción de maíz de temporal en la región. Para determinar el pH del suelo y subsuelo se colectaron muestras de suelo del tratamiento "con y sin cal" en siete localidades experimentales del proyecto INIFAP-CIMMYT, así como muestras de suelo y planta en localidades donde el maíz se mostró "con problema" y "sin problema", determinándose los contenidos de N, P, Ca, Mg, Zn; además, se

caracterizaron pedológicamente las series El Tablón, La Primavera y El Brillante. Los resultados obtenidos mostraron que el factor limitante para la producción de maíz se relaciona con problemas de acidez del suelo (4.5 o menor) y porcentaje de saturación de Al (5.0 a 60.0%), los cuales se estima afectan al 66.2% de los suelos donde se cultiva dicho cereal; los suelos resultaron no fijadores de P_2O_5 , y los requerimientos de encalado de 300 y 3200 $kg\ ha^{-1}$ para suelos donde el maíz presentaba buen desarrollo (sin problema) y pobre desarrollo (con problema), respectivamente. Las concentraciones en la octava hoja del maíz de N, Mg, Mn, Fe, Zn y Cu fueron adecuadas en ambos suelos, "con y sin problema"; sin embargo, en suelos "con problema" la concentración foliar en las plantas de maíz fue de 0.208% de P, 1.19% de K, y 0.26% de Ca.

SUMMARY

Differences observed between a soil transect and a soil survey study called for obtaining additional information in La Fraylesca, Chiapas. The objective of this study was to characterize the main soil series, to estimate soil acidity as well as to observe the effect of this last factor on maize yield in the region. Soil samples were

collected at seven field experiments carried out by the INIFAP-CIMMYT project; the treatment selected for sampling was no lime and lime application; soil and maize samples were also collected from fields where the crop showed poor and good development (soils with and without problems); three soil series where maize is grown were also characterized, these were El Tablón, La Primavera and El Brillante. Findings showed that the limiting factor for growing rainfed maize in La Fraylesca is acidity (pH 4.5 or lower) and saturation percentage of Al (5.0 to 60.0%); it is estimated that this problem affects 66.2% of the region. Soils are not P fixing, and lime requirements were 300 and 3200 kg ha⁻¹ for soil with problems and soils without problems, respectively. The concentration of N, Mg, Mn, Fe, Zn and Cu in maize was sufficient for both soils, however, in soils with problems the concentration of P, K and Ca in the 8th leaf of maize was 0.208%, 1.19% and 0.26%, respectively.

INTRODUCCION

En el área de La Fraylesca, Chiapas (Figura 1) se producen anualmente 364,483 ton de maíz en una superficie de 134,994 ha. En dicha área Pérez (1985) reportó que las propiedades físicas del suelo y la cantidad y distribución de la precipitación son favorables para la

producción de maíz en la zona; sin embargo, mencionó que los suelos del área presentan contenidos de Al intercambiable en cantidades suficientes para afectar hasta en un 20-30% el rendimiento de maíz.

Sánchez (1976) relacionó el pobre crecimiento de las plantas con la saturación de aluminio intercambiable de suelos ácidos. Por su parte, Black (1967) señaló que el pH *per se* no tiene efecto directo sobre el crecimiento de las plantas, excepto a valores de 4.2 o menores; a este pH la concentración del ion H⁺ puede parar o aún revertir la asimilación de cationes por las raíces. Jackson (1967) sumariizó las causas de infertilidad de los suelos ácidos y las relacionó con uno o más de los siguientes factores: (1) toxicidad de Al; (2) deficiencias de Ca o Mg, y (3) toxicidades de Mn.

Con relación a la toxicidad de Al, Abruña *et al.* (1970) reportaron que concentraciones de Al arriba de 1.0 ppm en la solución del suelo pueden causar reducción en el rendimiento. Un daño primario es el de lesiones al sistema radical; Villagarcía (1973) reportó que el crecimiento radicular del maíz es afectado cuando el porcentaje de saturación de Al alcanza valores del 60%. Otros estudios indican que el Al tiende a acumularse en las raíces e impide la

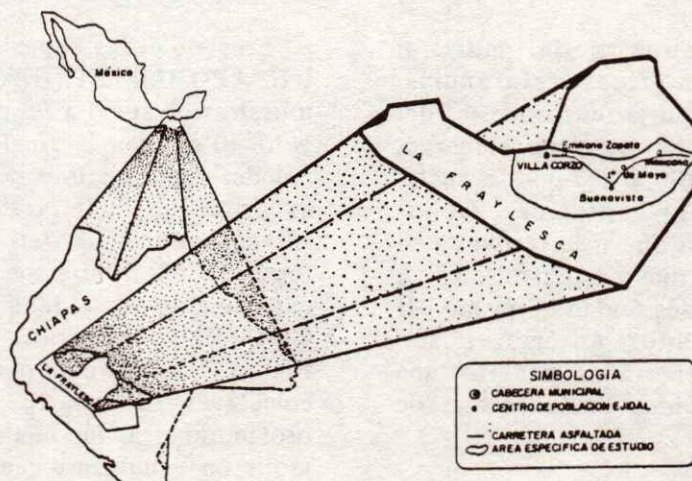


Figura 1. Area de estudio en el municipio de Villa Corzo, Chiapas.

asimilación y translocación de Ca y P hacia las partes superiores; en opinión de Foy (1974) el Al puede producir o acentuar deficiencias de P y Ca.

Ayres *et al.* (1965) indicaron que muchos suelos en los trópicos, aún sin tener problemas de toxicidad de Al, son deficientes en Ca, y reportaron ejemplos de suelos con poco Al intercambiable (a pH inferiores a 5.0) en Hawaii. Según Mikkelsen *et al.* (1963), en algunos casos de deficiencias de Ca y Mg, el encalado de suelos es utilizado como práctica de fertilización.

Black (1967) reportó que el Mn es muy soluble a pH menores de 5.5; este mismo investigador señaló que a pH de 5.0-6.0 pueden ocurrir toxicidades de Mn y Al, si el Mn está presente en cantidades suficientes.

En casos de acidez, el propósito principal es neutralizar el Al intercambiable; en opinión de Sánchez (1976) esto se logra elevando el pH hasta 5.5, y que cuando se sospeche toxicidad de Mn, el pH debe elevarse a 6.0. Al efectuar el encalado los factores a considerar son: (1) la cantidad de cal necesaria para decrecer el porcentaje de saturación de Al a un nivel en el que un cultivo particular desarrolle bien; (2) la calidad de la cal; y (3) el método de incorporación.

Respecto a la respuesta del maíz al encalado existen numerosas referencias. Abruña *et al.* (1974) reportaron respuestas del maíz a la aplicación de cal, sin embargo, dicha respuesta dependió del tipo de suelo; con referencia a lo anterior dichos investigadores señalaron que más respuesta se observó en Luvisoles que en Ferralsoles, a pesar de que ambos suelos tenían el mismo pH inicial. Los resultados anteriores son congruentes con los reportados por Pastrana (1985) para suelos ácidos de la sabana de Huimanguillo.

El objetivo del presente trabajo fue obtener información adicional sobre el problema de acidez detectado en un estudio

previo en La Fraylesca, Chiapas, así como caracterizar tres de las principales series de suelo donde se cultiva maíz de temporal, y determinar el potencial productivo del suelo con base en sus características morfológicas, físicas y químicas.

La hipótesis del trabajo fue, que la acidez en la región de La Fraylesca tiene una distribución más amplia y de mayor magnitud que la reportada en el estudio previo de Pérez (1990).

MATERIALES Y METODOS

Basándose en observaciones de problemas de acidez en la región de La Fraylesca, mediante un transecto edafológico realizado por Pérez (1985), se consideró conveniente ampliar la información al respecto, ya que los resultados de dicho transecto contrastaban con los obtenidos en otros estudios (SARH, 1979; 1980). Bajo estas circunstancias se obtuvo información adicional sobre los sitios experimentales conducidos en el proyecto INIFAP-CIMMYT (De la Piedra *et al.* 1988), así como de muestras compuestas de suelo y planta colectadas por el autor en terrenos de productores al final del ciclo de maíz de temporal de 1984.

Proyecto INIFAP-CIMMYT.

En siete sitios experimentales del proyecto INIFAP-CIMMYT (Hibón, 1984) se colectaron muestras de suelo a las profundidades de 0-20 y 20-40 cm con la finalidad de determinar el pH del suelo en uno de los tratamientos del experimento 2ⁿ (el tratamiento experimental seleccionado fue "con y sin cal"). Las localidades donde se ubicaron los sitios experimentales del proyecto INIFAP-CIMMYT se muestran en el Cuadro 1 y en la Figura 2. El número de muestras de suelo colectadas fue de 28 en cada una de las profundidades, las cuales se secaron al aire, molieron y tamizaron; el pH se determinó en una suspensión suelo:agua 1:2, utilizando un potenciómetro Beckman Modelo 30. Como información adicional es conveniente señalar

que los experimentos del proyecto INIFAP-CIMMYT se establecieron en "dominios de recomendación" fijados por Hibón (1984); el dominio 3 correspondió a suelos ubicados en terrenos con mínima pendiente, que recibieron aplicaciones de 180 y 60 kg ha⁻¹ de N y P₂O₅, respectivamente; mientras que el dominio 2 se localizó en terrenos con pendiente de 2% o mayor, los cuales han sido fertilizados con

200 y 60 kg ha⁻¹ de N y P₂O₅, respectivamente.

Análisis de Suelo y Planta en Terrenos de Productores.

En el mes de agosto y al final del ciclo de cultivo de maíz de 1984, se recorrió el área con el propósito de coleccionar muestras de

Cuadro 1. Determinación de pH en sitios experimentales del proyecto en fincas INIA-CIMMYT. Villa Corzo, Chis.

Localidad	Sitio exp.	Dominio recomend.	Profundidad	Tratamiento experimental		Textura	pH solución 1:2
				Cal			
				Sin	Con	pH	
cm							
1) Ej. 1o. de Mayo	1	3	0-20	x		A	3.75
	1	3	20-40	x		Ra	4.50
	1	3	0-20		x		4.01
	1	3	20-40		x		4.75
2) San Pedro Buenavista	2	2	0-20	x		Fa	3.44
	2	2	20-40	x		Fa	3.82
	2	2	0-20		x		3.78
	2	2	20-40		x		4.00
3) Palmira Villa Corzo	3	2	0-20	x		F	3.77
	3	2	20-40	x		Fr	4.59
	3	2	0-20		x		4.08
	3	2	20-40		x		5.24
4) Ej. Revol. Mexicana	4	2	0-20	x		A	4.12
	4	2	20-40	x		Fr	4.28
	4	2	0-20		x		5.02
	4	2	20-40		x		5.27
5) San Pedro Buenavista	5	2	0-20	x		F	3.77
	5	2	20-40	x		R	4.06
	5	2	0-20		x		3.90
	5	2	20-40		x		4.49
6) Ej. Rev. Mexicana	7	3	0-20	x		Fra	4.55
	7	3	20-40	x		Fr	5.06
	7	3	0-20		x		5.17
	7	3	20-40		x		4.55
7) Berlín Villa Corzo	10	3	0-20	x		Fr	5.00
	10	3	20-40	x		Ra	4.92
	10	3	0-20		x		4.98
	10	3	20-40		x		4.76

Dominio recomendación: Agroecosistema. Dominio 2: suelos con pendientes mayores del 2%; Dominio 3: suelos con pendiente mínima (<1%).

Textura: A = Arenosa; Ra = Arcillo arenosa; Fa = Franco arenosa; F = Franco; Fr = Franco arcilloso; R = Arcillosa; Fra = Franco arcillo arenoso.

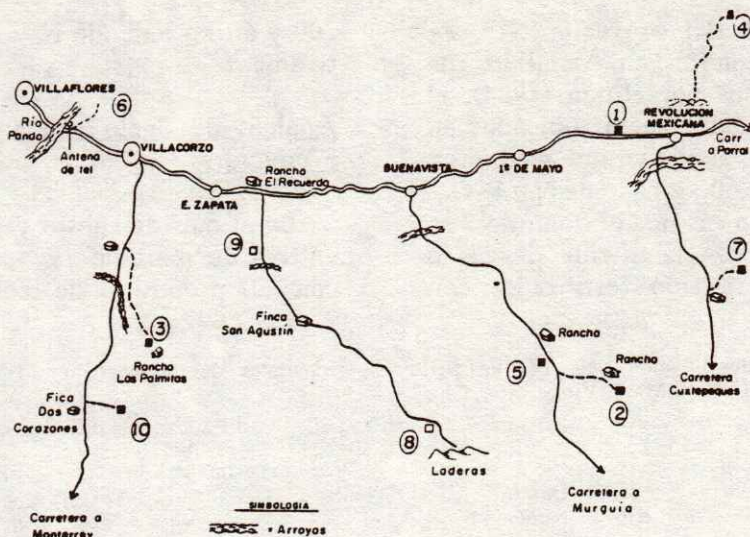


Figura 2. Localización de los sitios experimentales del Proyecto INIFAP-CIMMYT.

planta y suelo, respectivamente. El suelo se muestreó a la profundidad de 0-20 cm, en terrenos plantados con maíz desarrollándose en sitios "con y sin problema". El término "con problema" refiere a plantas de maíz con crecimiento pobre, tallos delgados, de porte bajo y rendimiento menor a 1.0 ton ha^{-1} (comunicación personal del productor). En contraste, el término "sin problema" refiere a plantas con crecimiento normal y rendimientos satisfactorios para el productor (mayores de 1.5 ton ha^{-1}). Sin embargo, esto último no significa que los rendimientos sean aceptables desde el punto de vista agronómico. El número de sitios muestreados fue de 12 y 15, para localidades "con y sin problema", respectivamente. Los sitios se localizaron en terrenos planos ubicados en terrazas de origen aluvial antiguo; las unidades de suelos se relacionaron con Luvisoles.

Las muestras de suelo y planta colectadas en cada uno de los sitios, se prepararon conforme a procedimientos y metodologías estándar, que son del conocimiento general; finalmente se prepararon muestras compuestas dividiéndose en tres repeticiones cada uno de los sitios muestreados.

Las características físicas y químicas determinadas en las muestras de suelo fueron: color en seco y húmedo utilizando tablas

Munsell, textura por el método de Bouyoucus; el pH en suspensión 1:2 en suelo:agua, solución 0.1M de CaCl_2 y KCl 1.0M materia orgánica (Black, 1965), N total (Kjeldahl), el P por los métodos de Carolina del Norte y Bray P-1. Además, se determinaron las ppm de K, Ca, Mg, Fe, Zn y Mn. También se determinó la CIC ($\text{meq } 100 \text{ g}^{-1}$), el Al e H intercambiable ($\text{meq } 100 \text{ g}^{-1}$) así como el requerimiento de enclado (kg ha^{-1}), tanto para neutralizar el Al intercambiable como para neutralizar la acidez intercambiable extraída con KCl 1N. Finalmente, se estimó la fijación de P por el método de Mehlich; para esto se dieron tratamientos diferenciales a las muestras de suelo, utilizándose una solución patrón de P, y la cuantificación de éste, la cual se realizó por el método de Carolina del Norte.

Las muestras de planta (octava hoja completamente desarrollada) se colectaron en el mes de agosto y se le practicaron análisis foliares de N, P, K, Ca, Mg, Mn, Fe, Zn y Cu, efectuándose los análisis en tres repeticiones de cada una de las muestras compuestas de plantas "con y sin problemas", respectivamente. El N se determinó por el método Kjeldahl (AOAC, 1970), el P por el método de Allen (1940), el K y el Ca por flamometría y el Mg, Mn, Fe, Zn y Ca por absorción atómica.

Descripción de Perfiles de Suelo.

Se describieron tres series representativas de suelo donde se cultiva maíz de temporal en la región. Las series son El Brillante, La Primavera y El Tablón. En los sitios seleccionados se excavaron perfiles hasta 2 m en donde fue posible y se describieron conforme a las especificaciones del SCS (1981).

RESULTADOS Y DISCUSION

Los resultados obtenidos de la información analizada de muestras de suelo del proyecto INIFAP-CIMMYT, de suelo y planta colectada en terrenos de productores y la descripción de perfiles representativos del área donde se cultiva maíz de temporal en La Fraylesca, permitió tener una panorámica global sobre la distribución y extensión del problema, así como caracterizar los principales suelos del área y obtener una estimación preliminar del efecto de la acidez sobre el rendimiento del cultivo de maíz. Con base en el análisis de esta información se harán la presentación y discusión de los resultados obtenidos.

Distribución del Area Afectada por Acidez del Suelo.

Por limitaciones de tiempo y económicas no fue posible efectuar un muestreo estadístico. Sin embargo, se logró estimar la distribución del problema basándose en la ubicación de los sitios experimentales del proyecto INIFAP-CIMMYT (Figura 2). Con el propósito de establecer los experimentos en los terrenos más representativos del área, la selección y ubicación de los sitios las efectuaron investigadores del proyecto con base en el conocimiento del área y fijación de dominios de recomendación (Hibón, 1984). Esta situación permitió conocer y tener una estimación preliminar sobre la naturaleza y distribución de los suelos con problemas de acidez en La Fraylesca. Es necesario enfatizar que si se desea tener mayor precisión se requerirá efectuar un muestreo

estadístico del área, sin embargo, esto no invalida el plantear la hipótesis sobre la magnitud del problema.

Los sitios experimentales del proyecto INIFAP-CIMMYT se muestran en el Cuadro 1. Las unidades de suelo (FAO/UNESCO, 1974) de los sitios experimentales se correlacionan con Acrisoles (tres sitios) y Luvisoles (cuatro sitios). La textura de suelos en Acrisoles varió de arenosa a arcillo arenosa y de franco a franco arcillosa en las localidades de lo. de Mayo y San Pedro Buenavista, respectivamente. En Luvisoles se observó el cambio en la cantidad de arcilla entre el subsuelo y el horizonte superficial; determinándose de esta manera, que con base en el contenido de arcilla, es de esperar la formación de un horizonte B₂ textural, tanto en Acrisoles como en Luvisoles.

La medición del pH se efectuó en el mes de agosto y las aplicaciones de cal en el mes de mayo. Los resultados de las mediciones (Cuadro 1) mostraron que el pH en el horizonte superficial varió de 3.44 a 5.0, en Buenavista y Berlín Villa Corzo, respectivamente. En general, se observó que el horizonte superficial resultó ligeramente más ácido que el subsuelo. Esto pudo deberse a que la adición de cal provocó un incremento en el pH del subsuelo.

El resultado del muestreo de suelos efectuado en el proyecto INIFAP-CIMMYT permitió corroborar la hipótesis de Pérez (1990), en el sentido de que el problema de acidez tiene una distribución más generalizada (Figura 2) que la detectada con anterioridad en una sección transversal del área de estudio, ya que se observaron valores de pH ácido para suelo y subsuelo (Cuadro 1) en cada uno de los sitios experimentales del proyecto INIFAP-CIMMYT. En síntesis, la distribución geográfica de la acidez parece estar generalizada en el área de estudio.

La situación anterior recalca la importancia que tiene el describir con mayor precisión la condición edáfica de los suelos de La Fraylesca donde se cultiva maíz de

temporal, así como la necesidad de realizar estudios más profundos que permitan conocer y entender la naturaleza y acidez de los suelos de la región con el propósito de incrementar la producción. Desafortunadamente, con la información disponible no es posible elaborar y discernir con mayor profundidad sobre las causas del problema, dados los objetivos del trabajo y, en virtud de que los experimentos no fueron establecidos por el autor, y sólo se le permitió muestrear los sitios experimentales, pero sin tener seguimiento agronómico del estudio INIFAP-CIMMYT.

Propiedades Morfológicas, Físicas y Químicas de tres Series de Suelos Representativas del Área

De la información reportada en la sección anterior se puede inferir o plantear la hipótesis de que la acidez del suelo parece ser un problema generalizado en La Fraylesca y no el resultado de una observación casística reportada en un estudio previo (Pérez, 1990).

Por esta situación, y con el propósito de estimar cuantitativamente de una manera indirecta la magnitud del problema, se describieron tres series de suelos (Cuadro 2) representativas de la región donde se cultiva maíz de temporal. La estimación de la magnitud del problema se hizo mediante inferencia del conocimiento de la superficie ocupada por cada una de las series de suelos en la región; de esta manera, la SARH (1979; 1980) reportó que las series El Tablón, La Primavera y El Brillante ocupan el 60.9% de las 44,000 ha que cubrió el estudio de reconocimiento.

El Brillante ocupa 6,117 ha, El Tablón 17,369 ha y La Primavera 3,304 ha. En el Cuadro 2 se hace una descripción breve de las características físicas de cada una de ellas. El modo de formación de los suelos de las tres series es secundario (Aluvial). El Tablón se localiza en llanuras de inundación recientes, mientras que El Brillante y La Primavera se localizan en terrazas. La pendiente es de

Cuadro 2. Características morfológicas de tres series de suelos dominantes en el área de La Fraylesca.

Horizonte	Profundidad	Color en húmedo	Textura	Estructura	Consistencia (húmedo)	Observaciones
<u>Serie El Brillante</u>						
Ap	0 - 10	10YR 3/2	Af	1 sbk-f	friable	No reacción HCl ni H ₂ O ₂
B ₁	10 - 20	7.5YR 3/2	Fr	2 sbk-f	friable	No reacción HCl ni H ₂ O ₂
B ₂	20 - 35	5YR 3/4	Fr	2 sbk-f	suave	No reacción HCl ni H ₂ O ₂
B _{2t}	35 - 40	2.5YR 3/6	Ra	2 sbk-m	suave	No reacción HCl ni H ₂ O ₂
<u>Serie La Primavera</u>						
Ap	0 - 20	7.5YR 3/4	F	2 sbk-f	firme	No reacción HCl ni H ₂ O ₂
B ₁	20 - 30	5YR 3/4	Fr	2 sbk-f-m	friable	En todo el perfil
B _{21t}	30 - 55	2.5YR 3/6	R	2 sbk.m	firme	Películas arcilla
B _{22t}	55 - 70	2.5YR 4/6	R	2 sbk.g	firme	Películas arcilla
B _{3t}	70 - 125	2.5YR 4/6	Rl	1 sbk.m	friable	Películas arcilla
C	>125	-	Fra	masiva	-	-
<u>Serie El Tablón</u>						
Ap	0 - 15	2.5Y 6/4	Af	1 graf	no friable	-
AC	15 - 30	2.5Y 6/4	Fa	sin estructura	no friable	-
C ₁	30 - 60	-	A	masiva	no friable	-
C ₂	60 - 80	-	A	masiva	-	-

8.0, 5.0, y 2.5% para El Brillante, La Primavera y El Tablón, respectivamente. El riesgo de erosión es de tipo laminar (grado 2) en las dos primeras y de laminar (grado 1) en El Tablón; las tres series mostraron buen drenaje interno.

El índice de productividad de Storie (Pérez, 1990) es de 43, 77 y 76% para El Brillante, La Primavera y El Tablón, respectivamente. Los factores de demérito en la primera resultaron la pendiente (8.0%) y el perfil grupo tipo III, que denota un desarrollo moderado del perfil y que se caracteriza por poseer un horizonte B₂textural, ya que son suelos localizados en abanicos aluviales antiguos. En La Primavera, los factores de demérito resultaron la pendiente y el grupo de perfil tipo II, que se relaciona con un ligero desarrollo del perfil del suelo; además se caracterizan por ser suelos localizados en abanicos aluviales jóvenes y por poseer un horizonte B_{2t}. En el caso de la serie El Tablón el factor principal de demérito resultó la textura areno francosa y franco arenosa de suelo y subsuelo, respectivamente.

En el horizonte superficial la densidad aparente varió de 1.47 a 1.49 g cm⁻³, lo cual puede estar relacionado con un excesivo tráfico de maquinaria, así como con la práctica de meter el ganado al terreno una vez cosechado el maíz (cuando aún hay humedad en el terreno). Las tres series de suelos pueden almacenar más de 40 mm de agua en la zona radical; por su parte, El Brillante y La Primavera están en condiciones de retener buena cantidad de agua de lluvia y proveerla al cultivo cuando sea necesaria; esto se corrobora por la distribución de la precipitación así como por la naturaleza del horizonte B₂textural.

No obstante las favorables condiciones físicas enumeradas en el párrafo anterior, hay que tener presente que las propiedades químicas de las tres series de suelo constituyen la limitante principal que afecta a la producción de maíz en la región. El pH

del horizonte superficial de los suelos tiene valores cercanos a 4.8 (Cuadro 1; Pérez, 1990). En el horizonte superficial, la CIC varió de 14.0 a 9.6 meq 100 g⁻¹ y el porcentaje de saturación de bases del 19.0 a más del 90.0%; la saturación de bases se incrementó con la profundidad del suelo; esta situación se relacionó con suelos más desarrollados y lixiviados, como son el caso de El Brillante y La Primavera (Pérez, 1990).

De la interpretación de la información obtenida en los perfiles de suelos se pueden establecer el desarrollo del perfil, el grado de intemperismo y la edad de los suelos. De esta manera, el suelo más desarrollado (más intemperizado) es la serie de La Primavera; le sigue El Brillante y por último sin horizontes de diagnóstico El Tablón (no desarrollado). Los datos registrados en este estudio y uno previo de Pérez (1985; 1990) permitieron además clasificar a las series Primavera, Brillante y Tablón como Acrisoles, Luvisoles y Fluvisoles, respectivamente. Esta información taxonómica puede contribuir a tener un mejor entendimiento de los suelos, así como a determinar las prácticas de manejo más apropiadas.

Por otra parte, también es posible conocer, dentro de los límites de error esperado y circunstancias de veracidad de la información, la distribución y magnitud de la superficie ocupada con suelos ácidos en el área. Para esto, debemos asumir que la información sobre superficie ocupada por las tres series que se describen en este estudio, refleja una situación real y extrapolable, o sea que el 66% del área que cubrió el estudio de reconocimiento representa a la región SARH (1980). De resultar cierto esta hipótesis, el problema de acidez en La Fraylesca es de magnitud considerable (66.0% o más) que requiere atención prioritaria en los planes y programas de producción de maíz del área.

Respuesta del Maíz de Temporal y Acidez del Suelo.

Teniendo en mente que la superficie ocupada por suelos ácidos en La Fraylesca es

considerable (60.9%), se juzgó pertinente el tratar de determinar si existía alguna relación con la producción de maíz. Para probar esta hipótesis se colectaron muestras de suelo y planta, tal como se indicó en la sección de materiales y métodos, teniendo cuidado en muestrear geoformas, unidad de suelo y sistema de producción comparables o similares.

Los resultados de los análisis químicos de las muestras compuestas de suelos se indican en el Cuadro 3. Independientemente de la solución-suelo utilizada en la determinación del pH; el valor de éste en suelos "con problema" fue consistentemente menor que en suelos "sin problema". Los rendimientos de maíz reportados por productores e investigadores del proyecto INIFAP-CIMMYT fueron de 2.49 y 3.62 ton ha⁻¹ para suelos "con y sin problema", respectivamente. Esta diferencia en rendimiento se puede explicar

por la presencia de los factores químicos del suelo sobre la producción de maíz (Cuadros 3, 4 y 5).

Los análisis químicos revelaron que los contenidos de Ca y Mg del suelo se encuentran a niveles que pueden ser considerados como críticos para el crecimiento normal de las plantas (Sánchez, 1976; Villagarcía, 1973); sin embargo, este problema puede ser de naturaleza más compleja, ya que puede involucrar dos o más factores. La suposición anterior se basa en las observaciones de deficiencias de P y K reportadas en los análisis de suelo y planta, Cuadros 3 y 6, respectivamente; como apoyo adicional a lo anterior, es de destacar que la deficiencia de Ca puede presentarse en suelos "con y sin problema", ya que el contenido de Ca es extremadamente pobre (135 ppm) en los suelos "con problema".

Cuadro 3. Propiedades físicas y químicas de dos muestras compuestas de suelo de La Fraylesca, Chis.

	Problema en las plantas	
	Sin	Con
Suelo	Luvisol	Luvisol
Geoforma	Plano terraza aluvial alta	(ambos)
Cultivo actual	Maíz	Maíz
Desarrollo plantas	Normal	Deficiente
Color seco	10 YR 5/2	10 YR 6/2
Color húmedo	10 YR 3/3	10 YR 3/3
Textura:		
arcilla (%)	8.90	8.90
limo (%)	28.90	24.90
arena (%)	62.20	66.20
pH 1:2 suelo-agua	4.60	3.87
1:2 suelo-sol: CaCl ₂ 0.1 M	4.35	4.23
1:2 suelo-sol: KCl 1.0 M	3.69	3.60
MO (%)	2.05 M	1.62 MP
NT (%)	0.130 MR	0.068 MP
Fósforo CN ppm	51.0 R	46.0 R
Fósforo Bray P-1 ppm	33.46 ER	18.13 ER
Potasio ppm	37.0 P	27.0 P
Calcio ppm	758.0 MR	135.0 EP
Magnesio ppm	20.0 MP	8.0 EP
Fierro ppm	28.12	72.96
Zinc ppm	1.60	0.40
Manganeso ppm	15.44	2.72

M: Mediano, MR: Medianamente rico; R: Rico.

P: Pobre, MP: Medianamente pobre; EP: Extremadamente pobre, ER: Extremadamente rico.

Los contenidos de Al intercambiable, CIC y requerimientos de encalado del suelo se muestran en los Cuadros 4 y 5, respectivamente. En éstos se puede observar que existen diferencias marcadas entre el suelo "con problema" y el suelo "sin problema", en especial en lo que refiere a Al intercambiable, requerimientos de encalado y relación de Al intercambiable a bases. En suelos "con problema" los valores obtenidos para estas variables fueron de 1.338 meq 100 g⁻¹, 3220 kg ha⁻¹ de CaCO₃ y 62.3%, respectivamente. En contraste, para suelos "sin problema" el Al intercambiable fue de 0.18 meq 100 g⁻¹, de 286 kg ha⁻¹ de CaCO₃ el requerimiento de encalado y 4.3% la relación de Al intercambiable a bases. Los contenidos de Al intercambiable y el porcentaje de saturación de bases en los suelos "con problema" explican el porqué en estos suelos se obtuvo menor rendimiento de maíz de temporal que en los suelos "sin problema".

En el Cuadro 5 se muestra la estimación de la fijación de P en suelos "sin y con problema". Una situación que puede resultar favorable es que ninguno de los suelos tanto "con y sin problema" resultó fijador de P.

Esto puede ser una ventaja que permita corregir deficiencias de este elemento, mediante la aplicación de fertilizantes fosfóricos en cantidades relativamente inferiores a las de suelos fijadores.

Con relación a Luvisoles y Acrisoles es importante establecer con claridad las diferencias entre éstos; sobre esta situación el estudio de la SARH (1980) ubica a ambas series, La Primavera y El Brillante, como Luvisoles, sin embargo, los análisis químicos efectuados en el presente estudio reportan composiciones químicas diferentes para ambas series, lo cual permitió separarlas en Alfisoles y Luvisoles. En este sentido Sánchez (1976) reportó que la mayoría de los Luvisoles tiene valores bajos de saturación de Al, mientras que en Acrisoles son altos. En el caso del presente estudio es de suponer que los suelos "sin problema" corresponden a Luvisoles, mientras que los suelos "con problema" son Acrisoles. En consecuencia, es recomendable que los sitios experimentales a seleccionar en estudios posteriores se

Cuadro 4. Características químicas de muestras compuestas del área de La Fraylesca.

	Problema en maíz	
	Sin	Con
Al interc. meq 100 g ⁻¹	0.1817	1.3384
H interc. meq 100 g ⁻¹	0.0478	0.3346
CIC meq 100 g ⁻¹	7.85	8.04
Req. encalado kg ha ⁻¹	273	2000
CaCO ₃ ¹⁾		
Req. encalado kg ha ⁻¹	286	3220
CaCO ₃ ²⁾		
Relación Al interc. y bases (%)	4.3	62.3

1) Para neutralizar el Al intercambiable.

2) Para neutralizar la acidez intercambiable extraída con KCl 1N.

Cuadro 5. Estimación de fijación de P en dos muestras compuestas de suelos de La Fraylesca, Chiapas.

Fósforo agregado	Suelo	
	Sin problema	Con problema
ppm en solución agregada	ppm de P en solución en equilibrio	
0	45	37
5	44	58
10	53	49
20	62	49
30	75	48
40	68	72
50	70	65
75	107	79
100	130	91
150	169	127
200	200	150
250	237	211

Cuadro 6. Análisis foliar de muestras compuestas de maíz de temporal de La Fraylesca, Chiapas.

Muestra	No. de repet.	N	P	K	Ca	Mg	Mn	Fe	Zn	Cu
		%			ppm					
CP	1	3.11	0.183	0.74	0.57	0.36	134	123	21.0	12.0
CP	2	3.87	0.187	0.96	0.49	0.42	114	143	18.0	5.0
CP	3	2.73	0.160	1.27	0.24	0.24	42	105	17.0	10.0
SP	4	3.37	0.217	1.10	0.38	0.39	49	138	18.0	10.0
SP	5	3.10	0.305	1.71	0.26	0.11	40	109	19.4	6.5
SP	6	1.81	0.104	0.75	0.15	0.09	60	62	17.3	6.5

CP: Con problema.

SP: Sin problema

caractericen con mayor profundidad y precisión.

Como hemos venido señalando, es importante conocer los suelos de La Fraylesca en mayor detalle, sin embargo, no debe olvidarse que al final de cuentas las plantas son las integradoras de lo que acontece en su entorno; esto es de fundamental importancia sobre todo cuando el problema no es simple como en el presente caso; en el presente estudio el problema puede estar relacionado con dos o más factores, tal como lo han observado en otros estudios Black (1967), Sánchez (1976) y Villagarcía (1973). Esta suposición se basa en las observaciones de deficiencias de P y K (Cuadros 3 y 6). Sobre esto mismo Foy (1974) reportó que las deficiencias de P y Ca pueden deberse también a una acumulación de Al en las raíces; esta acumulación impide la asimilación y translocación de dichos elementos. Con relación a lo anterior, en el Cuadro 6 se muestran los resultados del análisis químico foliar de la octava hoja de maíz completamente ligulada; en el cuadro en cuestión se observa que en el análisis de las plantas desarrollándose en el "suelo problema" las concentraciones de P y K se encuentran por debajo del nivel crítico; mientras que la concentración de Ca en las plantas es consistentemente deficiente en ambos casos, maíz desarrollándose en "suelos con y sin problema".

CONCLUSIONES

1. Los suelos del área poseen índices de productividad agrícola variables, los cuales están en función de su naturaleza edáfica y grado de desarrollo.
2. El problema limitante de producción de maíz de temporal en La Fraylesca es de mayor magnitud en Acrisoles y Luvisoles que en Fluvisoles.
3. Las series de suelo del área que se relacionan con lo anterior son "La Primavera, El Brillante y El Tablón", que se correlacionan con Acrisoles, Luvisoles y Fluvisoles, respectivamente.
4. Los análisis químicos de los componentes edáfico y planta confirmaron la existencia de factores químicos que limitan el potencial de producción de los suelos de la región.
5. Se estima que la acidez (aluminio intercambiable) afecta a 26,790 ha, que representan el 66.2% del área.
6. La extensión y magnitud del problema pueden rebasar los límites de cobertura del estudio de reconocimiento de suelos; sin embargo, para detectarlo con mayor precisión se requiere realizar un muestreo aleatorio que permita una estimación válida.

7. Además de los problemas con Al intercambiable, pueden ocurrir también deficiencias de K, Ca y Mg, lo cual haría la situación más compleja y difícil en la zona productora de maíz.

8. Dado que la acidez del suelo es problema complejo, se requieren estudios específicos que permitan enfocar con mayor precisión las estrategias de investigación a seguir en el área.

LITERATURA CITADA

ABRUÑA, F., J. VICENTE CHANDLER y R.W. PEARSON. 1970. Crop response to soil acidity factors in Ultisols and Oxisols. I. Tobacco. *Soil Sci. Amer. Proc.* 34: 629-635.

ABRUÑA, F., R.W. PEARSON, y R. PEREZ-ECOLAR. 1974. Lime responses of corns and beans grown on typical Ultisols and Oxisols of Puerto Rico. pp. 261-281. *In: E. Bornemisza and A. Alvarado (eds). Soil Management in Tropical America.* North Carolina State University, Raleigh.

ALLEN, R.J. 1940. Estimation of phosphorus. *Biochem. J.* 34 B: 858-865.

AOAC. 1970. Official methods of analysis. II edn. pp. 16, 128 (Horowitz, E.W. Ed), Washington, D.C.

AYRES, H.S., H.H. HÄGIHARA, y G. STANFORD. 1965. Significance of extractable aluminum in Hawaiian sugar cane soils. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* 29: 387-392.

BLACK, C.A. 1965. Methods of soil analysis. *Agronomy* 9: 371-390.

BLACK, C.A. 1967. Soil-plant relationships, 2nd ed. Wiley, N.Y.

DE LA PIEDRA C., J.L. JIMENEZ, W. LOPEZ B., A. HIBON y B. TRIOMPHE. 1988. Investigación adaptativa en campos de agricultores: El caso de La Fraylesca, Chis., México. Taller: Investigación Adaptativa en

Campos de Agricultores. CIFAP-Chis., CIMMYT y CIRAD. Tuxtla Gutiérrez, Chis. 19-23 Septiembre 1988.

FAO/UNESCO. 1974. Soil map of the world, 1:5 000 000, Vol. I, Legend. United Nations Educational, Scientific, and cultural organization (UNESCO), Paris.

FOY, C.D. 1974. Effects of aluminum on plant growth. pp. 601-642. *In: E.W. Carson (Ed). The plant root and its environment.* University Press of Virginia, Charlottesville.

HIBON, A. 1984. Investigación en campos de agricultores. Primer curso de Orientación para Aspirantes a Investigadores del INIP, INIF e INIA. La Calera, Zacatecas. México.

JACKSON, W.A. 1967. Physiological effects of soil acidity. *Agron. Monogr.* 12: 43-124.

MIKKELSEN, D.S., L.M.M. DE FREITAS, y A.C. McCLUNG. 1963. Effects of limiting and fertilizing cotton, corn and soybeans on Campo Cerrado soils, State of Sao Paulo, Brazil. *IRI. Res. Inst. Bull.* 29.

PASTRANA A., L. 1985. Experiencias sobre encalado y roca fosfórica en suelos ácidos de la sabana de Huimanguillo, Tabasco. Colegio Superior de Agricultura Tropical, H. Cárdenas, Tabasco SARH. México.

PEREZ Z., O. 1985. Propiedades morfológicas, físicas y químicas de los principales suelos de "La Fraylesca", Chiapas: I. Transecto de la margen derecha del Río San Pedro. Resúmenes XVIII Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo. La Paz, Baja California, México. pp. 5.

PEREZ Z., O. 1990. Limitantes de la producción de maíz de temporal en La Fraylesca, Chiapas I: Transecto edafológico y características físicas y químicas del suelo. *Terra* 8-1: 68-83.

SANCHEZ, P.A. 1976. Properties and management of soils in the tropics. pp. 614. John Wiley and Sons. N.Y.

SARH. 1979. Estudio agrológico semidetallado del proyecto La Fraylesca, municipio de VillaFlores, Chis. Comisión del Río Grijalva. Residencia Regional de Agrología de Tuxtla Gutiérrez, Chis. México.

SARH. 1980. Estudio agrológico semidetallado del proyecto La Fraylesca II, municipio de VillaCorzo y VillaFlores, Chis. Comisión del Río Grijalva. Residencia de Agrología de Tuxtla Gutiérrez, Chis. México.

SCS. SOIL CONSERVATION SERVICE. 1981. Examination and description of soils in the field. Soil Survey Manual 430-V-SSM. US Government Printing Office, Washington, D.C.

STEEL, G., y J.H. TORRIE. 1960. Principles and procedures of statistics. pp. 478. Mc Graw-Hill Book Company, Inc. N.Y.

VILLAGARCIA, S. 1973. Aluminum tolerance in the Irish potato and the influence of substrate aluminum on the growth and mineral nutrition of potatoes. Ph.D. Thesis. North Carolina State University, Raleigh. 200 p.

DETERMINACION DE NITRATOS EN EXTRACTOS DE SUELO

Measurement of Nitrate in Soil Extracts

Juan Pulido Secundino¹⁾, Jorge D. Etchevers Barra²⁾ y
Gloria Goijberg Rein.¹⁾

¹⁾Departamento de Suelos, Universidad Autónoma Chapingo,
56230 Chapingo, Méx.

²⁾Centro de Edafología, Colegio de Postgraduados,
56230 Chapingo, México.

Palabras clave: Análisis de suelo, Nitrógeno,
Métodos químicos.

Index words: Soil test, Nitrogen, Chemical
methods.

RESUMEN

Se evaluaron cinco soluciones extractoras y cuatro métodos de medición de nitratos en extractos de suelo. Muestras de la capa arable de 16 suelos de México con distintas características, se extrajeron con las siguientes soluciones: CuSO_4 0.02N, CaCl_2 0.01M, KCl 2M, CaCl_2 0.1N y agua destilada. Los métodos de medición de nitrato en estos extractos fueron: ácido fenoldisulfónico (FDS), destilación por arrastre con vapor en presencia de MgO-aleación Devarda (Devarda); ácido salicílico (AS) y electrodo sensitivo (Electrodo). Los cuatro métodos anteriores se usaron para medir los nitratos presentes en los extractos hechos con las dos primeras soluciones, los nitratos en el KCl 2M sólo se midieron con Devarda, y el extracto de las dos últimas soluciones sólo con AS. Los métodos de medición más precisos fueron Devarda y FDS, ambos en los extractos hechos con CaCl_2 0.01M, y el menos preciso fue el del

Electrodo. La medición con FDS rindió resultados similares a la con AS. Por su simplicidad, rapidez y costo se recomienda para determinaciones rutinarias de nitratos la extracción de los nitratos con CaCl_2 0.01M o CuSO_4 0.02N y la medición de éstos con el método AS.

SUMMARY

Five extracting solutions and four methods for measuring nitrate in soil extracts were evaluated. Soil samples from the plow-layer representing 16 soils from Mexico were taken. Extracting solutions were: CuSO_4 0.02N, CaCl_2 0.01M, KCl 2M, CaCl_2 0.1N, and distilled water. Methods for determination were: phenoldisulfonic acid (FDS); MgO-Devarda alloy steam distillation (Devarda); salicylic acid (SA), and sensitive electrode (Electrode). The first two extracting solutions were combined with the four determination methods. The KCl 2M was combined with Devarda method and the two last solutions combined with SA method only. The most precise nitrate measurement methods were: Devarda and FDS both in CaCl_2 0.01M extracts and the least precise was the Electrode. Measurements performed with FDS and SA produced similar results. The SA method is recommended for routine determinations of

nitrate in soil extracts because it is straightforward, less time consuming, and can be done at a lower cost.

INTRODUCCION

En la mayoría de los suelos agrícolas el nitrógeno es el nutrimento más deficiente; a pesar de ello no existe en la actualidad un método preciso y confiable para la estimación de su disponibilidad (Cottenie, 1984). La medición de nitrógeno mineral, particularmente nitrato, ha sido útil para determinar el nitrógeno potencialmente disponible en el suelo (Alvarez, 1988; Smith, 1977). A pesar de su importancia, la medición de nitratos en el suelo es un análisis poco común debido principalmente a la falta de un método conveniente en muestras de interés agronómico.

El objetivo central de este trabajo fue evaluar algunos métodos de extracción y medición de nitratos en suelo, con el propósito de seleccionar un método adaptable a análisis de rutina.

REVISION DE LITERATURA

Para la determinación de nitratos en extractos de suelo se han descrito numerosos métodos colorimétricos, de destilación o potenciométricos. Con frecuencia estos métodos consumen mucho tiempo y las interferencias son serias (Øien y Selmer-Olsen, 1969). Entre los procedimientos más populares se incluyen: la reducción de los iones nitrato a amonio seguida de una titulación o colorimetría; la reducción química selectiva o bioquímica de los nitratos o nitritos y su posterior diazotización con una variedad de reactivos; la nitración de moléculas orgánicas activas y su determinación colorimétrica; la polarografía; y las mediciones potenciométricas (Etchevers, 1985; Milham *et al.*, 1970; Orion, 1979).

El método colorimétrico del ácido fenoldisulfónico (FDS) para determinar nitratos en extractos de suelo es uno de los

más ampliamente usados por su precisión y exactitud, pero la presencia de materia orgánica y nitritos produce interferencias (Mahendrappa, 1969), a menos que sean eliminados previamente mediante algún tratamiento químico. Adicionalmente tiene la desventaja de requerir la evaporación del extracto dentro del proceso de análisis (Jackson, 1964).

Los métodos de reducción de nitrato a amonio mediante la aleación Devarda y su posterior arrastre por vapor (Keeney y Nelson, 1982) también han sido recomendados, fundamentalmente porque permiten el análisis simultáneo de amonio intercambiabile, nitrato y nitrito en el mismo extracto. Desafortunadamente se requiere de algún equipo especial y consumen una buena cantidad de reactivos.

Los métodos potenciométricos, los cuales utilizan electrodos sensitivos al ion nitrato (Orion, 1979), parecen reducir la complejidad y el tiempo de preparación de las muestras, debido a que no se requiere un tratamiento posterior del extracto (Milham *et al.*, 1970). Por lo tanto, el electrodo sensitivo a nitrato parece ser un medio de análisis que cumple los requisitos de ser un método rápido, simple y económico. Sin embargo, es afectado por iones que producen interferencias, tanto por la naturaleza de la solución extractora como por otras variables analíticas (Adamowicz *et al.*, 1982; Pedrazzini *et al.*, 1979).

Existen otros métodos propuestos que parecen tener aún más ventajas de rapidez y simplicidad que los comúnmente empleados. Uno de ellos es el método de la nitración con ácido salicílico, el cual fue publicado inicialmente por Cataldo *et al.* (1975) para análisis de nitrato en tejido vegetal y adaptado posteriormente por Robarge *et al.* (1983) para análisis de muestras de agua y extractos de suelo.

MATERIALES Y METODOS

Se muestrearon 16 suelos (0 a 30 cm) representativos de México, los cuales abarcan la mayoría de los órdenes de la Taxonomía de Suelos (Cuadro 1). Las muestras se secaron al aire y se tamizaron a 2 mm. Se seleccionaron cinco soluciones extractoras y cuatro métodos de medición, los cuales se combinaron en un diseño factorial incompleto (Cuadro 2). Las determinaciones de nitrato fueron hechas por triplicado en repeticiones independientes en el tiempo, de acuerdo a los procedimientos de las referencias originales y se encuentran descritos detalladamente en el trabajo de Pulido (1990). Para evaluar la precisión de los tratamientos se utilizó el cuadrado medio del error (CME) obtenido de los análisis de varianza individuales. Se hizo un análisis combinado entre tratamientos que mostraron tener varianzas homogéneas (Martínez, 1988). Se considera como método de referencia el FDS.

RESULTADOS Y DISCUSION

En el Cuadro 3 se presentan las medias, CME y los coeficientes de variación (CV) de los 16 suelos analizados con las diversas combinaciones de extractante y método de medición de nitrato empleados. Los tratamientos estimaron cantidades diferentes de nitrato. Las medias variaron de 9.9 (T-2) hasta 62.9 (T-7) ppm N-NO₃. La precisión de los métodos también varió ampliamente, siendo la extracción con CaCl₂ 0.01M y la medición por reducción de los nitratos con aleación Devarda la más precisa (CME 0.172), mientras que la extracción con la misma solución y la medición con electrodo sensitivo la menos precisa (CME 91.51).

La prueba de homogeneidad de varianzas agrupó los tratamientos de la manera siguiente: (a) 1, 5, 6, 10 y 11; (b) 1, 3, 9 y 11, y (c) 2 y 4. Los tratamientos 2 y 4, es decir la medición con electrodo, fueron rechazados en todos los grupos. El análisis combinado de estos grupos de tratamientos permitió hacer las siguientes conclusiones.

Cuadro 1. Identificación de las muestras de suelo.

Número muestra	Clasificación de campo ¹⁾	Procedencia
7571	Argiustoll	López Mateos, Tlax.
7572	Rodudalf	Huatusco, Ver.
7573	Vertic rendoll	Papantla, Ver.
7574	Calcixeroll	El Bondho, Hgo.
7575	Haplaxeroll	Cuesta Blanca, Hgo.
7576	Pelludert	Zacatepec, Mor.
7578	Medisaprist	Zacapu, Mich.
7579	Fluvaquent	San Marcos, Ags.
7580	Durustoll	Coatlinchán, Méx.
7581	Calcixeroll	Tlaxcoapan, Hgo.
7582	Chromoxerert	Acatlipa, Mcr.
7583	Tropaqualf	Córdoba, Ver.
7584	Halaquept	Texcoco, Méx.
7585	Eutrandept	Toluca, Méx.
7586	Halaquept	Montecillo, Méx.
7587	Paleudult	Tacotalpa, Tab.

¹⁾De acuerdo a la Taxonomía de Suelos (Soil Survey Staff, 1975).

Cuadro 2. Tratamientos ensayados para la determinación de nitratos en extractos de suelo.

Solución extractora	Método de medición			
	FDS ¹⁾	Devarda ²⁾	AS ³⁾	Electrodo ⁴⁾
CuSO ₄ 0.02N	T-1	T-3	T-5	T-7
CaCl ₂ 0.01M	T-2	T-4	T-6	T-8
KCl 2 M		T-9		
CaCl ₂ 0.1N			T-10	
Agua destilada			T-11	

1) método del ácido fenoldisulfónico (Jackson, 1964).

2) método de destilación con vapor en presencia de MgO-aleación Devarda (Keeney y Nelson, 1982).

3) método del ácido salicílico (Robarge et al., 1983)

4) método del electrodo sensitivo a nitrato (Orion, 1979).

Cuadro 3. Estadísticos descriptivos por tratamiento¹⁾

Tratamiento	Media (ppm N-NO ₃)	CME ²⁾	CV ³⁾ %
1	14.3	3.09	12.06
2	9.9	0.22	4.67
3	15.2	6.44	16.72
4	13.2	0.17	3.14
5	15.2	1.50	8.04
6	15.4	1.66	8.44
7	62.9	18.07	6.76
8	45.3	91.52	15.21
9	16.9	6.98	15.64
10	12.7	1.81	10.56
11	15.6	4.31	13.31

1) obtenidos del análisis de varianza individual.

2) cuadrado medio del error.

3) coeficiente de variación.

CONCLUSIONES

1. En las soluciones extractoras analizadas por el método AS se obtuvieron prácticamente las mismas concentraciones de nitratos, excepto CaCl₂ 0.1N, que tiene un alto nivel de cloruro el cual interfiere con este método.
2. Los métodos de medición que resultaron más precisos fueron el de reducción de nitratos con aleación Devarda y el FDS, ambos cuando se utilizaron en extractos de CaCl₂ 0.01M.
3. El método de medición menos preciso fue el del electrodo, el cual estuvo sujeto a diversas interferencias.
4. El método AS resultó tan preciso como el método FDS, el cual ha sido utilizado durante varias décadas como referencia;
5. Por su precisión, rapidez y simplicidad, el método del ácido salicílico es recomendable para análisis de rutina de nitratos en extractos de suelo hechos con CaCl₂ 0.01M o CuSO₄ 0.02N.

LITERATURA CITADA

- ADAMOWICZ, S., C. OTTO, S. MARS y N. BALLINO. 1982. Comparaison de différentes méthodes de dosage des nitrates dans les extraits des sols; Influence du milieu d'extraction. *Agronomie* 2: 359-364.
- ALVAREZ S., M.E. 1988. Selección de métodos de diagnóstico de nitrógeno aprovechable en el suelo. Tesis M.C. esp. Edafología. Centro de Edafología, Colegio de Postgraduados, Montecillo, Méx.
- CATALDO, D.A., M. HAROON, L.E. SCHRADER y V.L. YOUNGS. 1975. Rapid colorimetric determination of nitrate in plant tissue by nitration of salicylic acid. *Comm. Soil Sci. Plant Anal.* 6: 71-80.
- COTTENIE, A. 1984. Los análisis de suelos y de plantas como base para formular recomendaciones sobre fertilizantes. *Boletín de Suelos de la FAO.* 38/2. FAO, Roma.
- ETCHEVERS, J.D. 1985. Determinación de nitrógeno en suelos. Serie Cuadernos de Edafología 5. Centro de Edafología, Colegio de Postgraduados, Chapingo, México.
- JACKSON, M.L. 1964. Análisis químico de suelos. Ed. Omega, Barcelona, España.
- KEENEY, D.R. y D.W. NELSON. 1982. Nitrogen-inorganic forms. *In: A.L. Page et al. (Eds) Methods of soil analysis, Part 2. Agronomy* 9: 643-698. 2nd. ed. Am. Soc. Agr. Inc. Madison, Wis.
- MAHENDRAPPA, M.K. 1969. Determination of nitrate nitrogen in soil extracts using a specific ion activity electrode. *Soil Sci.* 108: 132-136.
- MARTINEZ G., A. 1988. Diseños experimentales; métodos y elementos de teoría. Ed. Trillas, México. 756 pp.
- MILHAM, P.J., A.S. AWAD, R.E. PAULL y J.H. BULL. 1970. Analysis of plants, soil and waters for nitrate by using a ion-selective electrode. *Analyst (London)* 95: 751-757.

ØIEN, A. y A.R. SELMER-OLSEN. 1969. Nitrate determination in soil extracts with the nitrate electrode. *Analyst (London)* 94: 888-894.

ORION. 1979. Instruction manual: nitrate ion electrode 93-07. Form 9307/9790. Orion Res. Inc. Cambridge, Mass. 26 pp.

PEDRAZZINI, F., A. CASTELLI y P. MANNIPIERI. 1979. Determination of soil nitrate by means of specific ion electrode: Comparison among different extracting solutions. *Comm. Soil Sci. Plant Anal.* 10: 883-893.

PULIDO S., J. 1990. Métodos para determinación de nitratos en extractos de suelo. Universidad Autónoma Chapingo, Chapingo, México. (Tesis de licenciatura).

ROBARGE, W.P., A. EDWARDS y B. JOHNSON. 1983. Water and waste water analysis for nitrate via nitration of salicylic acid. *Comm. Soil Sci. Plant Anal.* 14: 1207-1215.

SMITH, C.M. 1977. Interpreting inorganic nitrogen soil tests: sample depth, soil water, climate and crops. *In: T.R. Peck et al. (Eds). Soil Testing: Correlating and Interpretating the analytical results.* p. 85-98. ASA Special Publication 29. ASA-CSSA-SSSA, Madison, Wis.

SOIL SURVEY STAFF. 1975. Soil taxonomy. USDA Handbook 436. Washington, D.C.

LA DESERTIFICACION, SUS CAUSAS Y CONSECUENCIAS: MEDIDAS PREVENTIVAS Y CORRECTIVAS PARA SU CONTROL¹⁾

Desertification, its Causes and Consequences:
Prevention and Corrective Measures

Manuel Anaya Garduño

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

Palabras clave: Desertificación, Degradación del suelo, Erosión, Incostramiento, Compactación, Tecnología, Plan de acción.

Index words: Land degradation, Erosion, Crusting, Compaction, Technology, Plan of action.

RESUMEN

La desertificación está afectando a todos los sistemas de uso de la tierra; las altas densidades de población están relacionadas con la degradación del suelo en países en vías de desarrollo. Por el año 2000, se tendrá una población de 6,350 millones de habitantes con una superficie arable de 2,000 millones de hectáreas bajo condiciones de temporal y 300 millones de hectáreas con riego. Desafortunadamente, la disponibilidad de granos básicos está disminuyendo y el producto nacional bruto es bajo en países en vías de desarrollo. Los pastizales cubren 3,000

millones de hectáreas, en un 80% se presenta sobrepastoreo. Cada año desaparecen 11 millones de hectáreas de bosque, sólo se repone un millón; además 2,200 millones de habitantes usan leña para cocinar, lo que equivale a 1,800 millones de metros cúbicos de madera.

Existen siete formas de desertificación: (1) degradación de la cubierta vegetal; (2) erosión hídrica; (3) erosión eólica; (4) ensalitramiento; (5) reducción de la materia orgánica; (6) encostramiento y compactación y (7) contaminación.

Las soluciones para prevenir y combatir a la desertificación se relacionan con la utilización de tecnologías tradicionales y modernas y sobre todo con los aspectos sociales y económicos; además se deberá contar con la participación de los que toman las decisiones.

SUMMARY

Desertification is taking place over the land use systems; high population density is related with soil degradation in developing countries. In the year 2000, 6,350 million inhabitants will have available a cultivated area of 2,000 million hectares under rainfed conditions and 300 million hectares with

¹⁾ Conferencia presentada en el XX Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo. 11-14 Noviembre 87, Zacatecas, Zac.

irrigation. Unfortunately, availability of basic grains is diminishing, the national gross product is low in developing countries. Grassland covers 3,000 million hectares; in 80% overgrazing is present. Every year 11 million hectares of forestry land disappear, only one million hectares are under reforestation programmes; also 2,200 million people use firewood for cooking equivalent to 1,800 million cubic meters which is used as firewood and charcoal.

There are seven processes of desertification: (1) degradation of the vegetative cover, (2) hydric erosion; (3) eolic erosion; (4) salinization, (5) organic matter reduction, (6) crusting and compaction, and (7) pollution.

Solutions to prevent and combat desertification are found in traditional and modern technology, especially their social and economic aspects. Moreover, the participation of decision makers in seeking solutions is essential.

INTRODUCCION

A través del desarrollo de la humanidad se ha encontrado que la productividad de la tierra ha estado estrechamente relacionada con el florecimiento y la desaparición de varias civilizaciones. Algunos factores naturales y las actividades humanas provocan la disminución o la destrucción del potencial biológico de la tierra, reduciendo la productividad vegetal y animal, propiciando condiciones de tipo desértico (Anaya, 1977).

Actualmente, la humanidad se encuentra en grave peligro, debido al incremento acelerado de la población y a la disminución de la producción de las tierras agrícolas, sobre todo en países en vías de desarrollo (Buringh, 1982; IUCN and UNEP, 1982 y Kanwar, 1982).

La superficie arable en el mundo es de 1,400 millones de hectáreas y se estima que anualmente se degradan 21 millones de

hectáreas, con pérdida de 25 millones de toneladas de suelo superficial, que es el que presenta mejores niveles de fertilidad. Adicionalmente se pierden más de 3 millones de hectáreas de suelo no agrícola (Tolba, 1983).

Los países más pobres son los que sufren los mayores problemas de erosión, ya que a medida que la productividad de la capa arable se reduce drásticamente y en forma continua, las hambrunas empiezan a presentarse.

La alta densidad de población ejerce una presión sobre la superficie arable y en muchos casos se da cabida a la erosión y a la desertificación: muchos países de Africa, Asia y América Latina están en peligro como consecuencia de dinámico deterioro de sus recursos naturales (Anaya, 1977; 1983).

La población mundial aumenta en 80 millones de habitantes cada año, y presenta el reto de cómo aumentar los rendimientos unitarios de granos básicos para satisfacer la creciente demanda de alimentos.

Se estima que para el año 2000 se tendrá una población mundial de más de 6,350 millones de habitantes y una superficie cultivable de 2,000 millones de hectáreas bajo condiciones de temporal y 302 millones de hectáreas con riego (Ambroggi, 1980; Barney, 1980).

La tierra arable para naciones industrializadas será de 0.45 hectáreas por cápita y para algunos países en vías de desarrollo será solamente de 0.20 hectáreas: por lo tanto, para hacer frente a la demanda de alimentos se tendrán que producir, para el año 2000, 2.75 toneladas de granos básicos por hectárea (Barney, 1980).

Es importante mencionar que en América Latina, Africa y Asia se presenta la situación más crítica en relación a las altas tasas de crecimiento demográfico, a la baja disponibilidad de granos básicos y al bajo producto nacional bruto *per capita*. Esto representa un reto para establecer la óptima relación entre población-tierra arable disponible-producto nacional bruto.

En las zonas áridas y semiáridas los problemas más graves son causados por el proceso de desertificación, con la consecuente pérdida gradual de la productividad en los sistemas de uso de la tierra. Esta pérdida es causada por la degradación física y biológica provocada por el hombre al usar irracionalmente los recursos naturales y reforzada, a su vez, por la influencia negativa de la naturaleza, como por ejemplo la sequía, el subdesarrollo de los sistemas socioeconómicos y tecnológicos, y por el desequilibrio entre las necesidades de supervivencia de las poblaciones humana y social y la productividad potencial de los factores naturales como energía, agua, suelo y planta.

IMPACTO DE LA DESERTIFICACION

El Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente estima que el 80% de las áreas ganaderas está afectado por la desertificación. La principal causa es la alta densidad de animales por unidad de superficie, lo cual lleva a la degradación de la cubierta vegetal por el sobrepastoreo, con la consecuente erosión que reduce la productividad de la capa superficial del suelo (Milas, 1984; Tolba, 1983).

En América Latina alrededor del 80% de las áreas pecuarias está afectado por el sobrepastoreo, lo cual indica que es necesario establecer las medidas preventivas y de carácter correctivo para resolver el problema (Dregne, 1982).

Alrededor de 2,200 millones de habitantes realizan cortes de leña en las zonas boscosas para utilizarla como combustible, así más de la mitad de madera que se corta en el mundo, alrededor de 1,800 millones de metros cúbicos, se utiliza como leña y carbón vegetal, esto equivale a 5.5 millones de barriles de petróleo (Sepúlveda, 1985).

En las naciones en vías de desarrollo, el 80% de la leña se utiliza para cocinar alimentos; se estima que más de 1,000 millones de habitantes de las zonas tropicales de Asia,

Africa y América Latina satisfacen sus necesidades de leña mediante talas excesivas.

El 23% de la agricultura de riego en América del Sur presenta problemas de ensalitramiento. Asimismo, un 83% (11,859,000 ha) de la tierra agrícola de temporal presenta erosión en diversos grados y un 83% (319,380,000 ha) de los pastizales presenta problemas de sobrepastoreo (Dregne, 1982).

En lo referente a recursos forestales se calcula para América Latina que de una superficie forestal de 550 millones de hectáreas en 1975, ésta se reducirá a 330 millones de hectáreas para el año 2000 (Barney, 1980).

En México, las zonas áridas y semiáridas representan más del 50% de la superficie nacional y en ellas se localiza más del 50% de la población del país.

En Perú, el 50% de la producción agrícola se genera en las costas áridas sujetas a irrigación, el 50% restante se refiere a una agricultura extensiva bajo condiciones de temporal y de bajos rendimientos que se practica principalmente en las serranías.

El noreste de Brasil, la Patagonia Argentina, las costas de Perú, el norte de Chile, el Altiplano Boliviano, la Guajira y noreste de Venezuela, así como Haití y la República Dominicana también se encuentran afectados por la aridez y semiaridez. En estas regiones los grados de desertificación varían en las zonas boscosas, ganaderas y agrícolas, siendo mayores donde se tienen altas densidades de población.

A pesar de que América Latina cuenta con una disponibilidad de recursos hidráulicos, ésta posee zonas extremadamente áridas como el desierto del Altar en Sonora, México, y los desiertos de las costas de Perú y del norte de Chile.

En general, en América Latina existe una separación entre las actividades agrícolas de riego, agrícolas de temporal, pastizales y

bosques, lo cual favorece al avance de la degradación física y biológica de los ecosistemas, por no contar con una planeación integral.

La población rural en muchos países de América Latina es mayor del 60%, lo cual indica que depende principalmente de las actividades agrícolas, pecuarias y forestales, y en aquellos casos en que no hay un tipo de planeación de los diversos usos del suelo, se tiene el peligro del avance de la desertificación (CEPAL, 1978).

CAPACIDAD ALIMENTARIA DE LA TIERRA VS DESERTIFICACION

Las tierras agrícolas, si se dividen en unidades de superficie alimentaria, tienen una determinada capacidad en términos de calorías y proteínas de origen vegetal, es decir, pueden nutrir a un número determinado de seres humanos y si éste se excede se podría llegar a una degradación de la productividad y eventualmente dar paso a la desertificación.

Si un habitante de América Latina solo se alimentara con maíz, cubriría sus necesidades calóricas con 292 kg por año, o sus necesidades proteicas con 250 kg por año. Una tonelada de maíz podría alimentar, de acuerdo al número de calorías a 3.4 y en términos de proteínas a 4 personas (Higgins *et al.*, 1982; Ortíz y Anaya, 1982).

Suponiendo que no existe una degradación del recurso suelo y que se logren cosechas satisfactorias, en el año 2000 la población mexicana podría mostrar deficiencias en la producción de calorías y estaría en el umbral de ser deficiente en proteínas y como consecuencia el riesgo a desertificarse sería mayor.

La relación capacidad alimentaria-población debe entenderse como un índice que trata de establecer áreas con un alto riesgo de desertificación y no como un indicador de problemas de desnutrición. Es urgente hacer una estimación de las condiciones de

producción de calorías y proteínas que tendrán los países de Latinoamérica para el año 2000, para tomar las medidas preventivas más adecuadas (Ortiz y Anaya, 1983).

EVALUACION DE LA DESERTIFICACION

La desertificación como proceso incluye todas las formas de deterioro tanto económico como social o de degradación; a través de los procesos naturales o inducidos, que destruyen el equilibrio del suelo, de la vegetación del suelo, de la vegetación, del aire o del agua, de las áreas sujetas a una fuerte aridez edáfica o una alta aridez climática, la desertificación es una expresión global de varios procesos (Anaya, 1977; FAO/UNEP, 1982).

Existen siete procesos que son responsables de la desertificación, los cuales son: degradación de la cubierta vegetal, erosión hídrica, erosión eólica, salinización, reducción de la materia orgánica del suelo, encostramiento y compactación del suelo y la acumulación de sustancias tóxicas para las plantas o los animales. De éstos, los cuatro primeros son procesos primarios y los tres últimos procesos secundarios de desertificación (Buringh *et al.*, 1962).

Los procesos primarios son llamados así porque sus efectos son amplios y tienen un impacto muy significativo sobre la producción de la tierra.

La desertificación se evalúa con base en tres criterios: estado actual, velocidad y riesgo. Para cada uno de estos criterios se consideran cuatro clases de desertificación: ligera, moderada, severa y muy severa.

Para la evaluación de la desertificación debe contarse con un mapa de unidades terrestres que sirva como marco de referencia básico, para tener la posibilidad de realizar dentro de cada unidad las evaluaciones de los criterios de desertificación. Existen cuatro niveles de evaluación: mundial, nacional, estatal o regional y municipal o local.

Siendo la más general la primera y la más detallada la última.

El problema de la escala está estrechamente relacionado con el grado de detalle, a mayor escala hay mayor precisión y a menor escala hay mayor generalización. Los estudios se apoyan en el concepto de "área mínima cartografiable", que es la unidad de superficie más pequeña que puede ser presentada sobre un mapa, la cual varía en función de la escala (Anaya *et al.*, 1982).

De esta manera, si se pretenden evaluar los procesos de desertificación, existen varios criterios, el adoptado en México establece que la superficie más pequeña que se podrá mostrar en el mapa será de 62,500 hectáreas, mientras que si la evaluación es a nivel local la superficie más pequeña será de 4.00 hectáreas.

Para todos los procesos y criterios de desertificación a medida que la escala de sus mapas se hace más pequeña se tienen unidades terrestres con áreas más grandes, originando con esto una mayor variación, la cual, a su vez, da por resultado zonas que pueden tener dos o más clases de desertificación.

TECNOLOGIA Y DESERTIFICACION

La instrumentación de tecnología para combatir la desertificación no es una tarea fácil; en general, las regiones que tienen grandes concentraciones de población son las que están más expuestas a los efectos de la desertificación y se localizan en las zonas áridas y semiáridas en donde se encuentran los grupos marginados.

Es necesario que en estas regiones, la tierra y otros recursos sean manejados racionalmente y con las tecnologías apropiadas a planes de acción a corto y largo plazo; además, deberá contarse con la participación entusiasta de los productores.

El apoyo de la población local es de vital importancia, ya que el objeto no es solo combatir la desertificación y obtener

ganancias económicas, sino también mejorar las condiciones de vida de la gente, especialmente en las áreas más afectadas, donde la miseria, el desempleo y el subdesarrollo están presentes. Por lo tanto, ningún sistema tecnológico, sea sofisticado o práctico, tendrá éxito a menos que se ponga una cuidadosa atención a los programas educativos y de adiestramiento, a través de los cuales se difunda la información necesaria.

La selección y aplicación de tecnologías para combatir la desertificación estarán basadas en la educación y motivación de la población local así como en la disponibilidad de personal técnico bien preparado y el nivel de inversión y de tiempo dedicado para recuperar áreas específicas en proceso de deterioro.

Tres principios básicos deberán tomarse en cuenta para determinar las tecnologías más eficientes para combatir la desertificación (Anaya, 1977).

(1) Dar prioridad a los sistemas de producción menos deteriorados. Este principio es importante cuando las limitaciones económicas son severas, ya que inversiones bajas producirán ganancias satisfactorias en períodos cortos de tiempo, y podrán ser reinvertidas para aumentar la productividad gradualmente, además las ganancias extras podrán utilizarse para recuperar otras áreas con mayor deterioro.

(2) El segundo principio consiste en tomar conciencia de la importancia de la tecnología de carácter intermedio, ya que frecuentemente, en los países en vías de desarrollo se tiene una capacidad industrial reducida, una falta de centros de salud en buenas condiciones, sistemas deficientes de transporte, limitaciones de crédito y un desarrollo tecnológico, lo cual dificulta la introducción de tecnologías más avanzadas y complejas.

(3) El tercer principio involucra a las tecnologías tradicionales desarrolladas por las comunidades así como otros sistemas de vida que deben ser considerados antes de

establecer nuevos sistemas de uso de la tierra ya que representan las bases para el manejo de los recursos naturales.

CAPTACION Y MANEJO DEL AGUA DE LLUVIA

Los sistemas de uso del suelo bajo condiciones de temporal dependen de las características de la lluvia como la fuente de agua principal, los procesos para controlar la desertificación y para mejorar la productividad de la tierra requerirán la aplicación en gran escala de la tecnología disponible para lograr un uso óptimo de el agua de lluvia (Anaya, 1981).

Las técnicas de desalinización, producción agrícola en ambientes controlados, el reuso de aguas municipales y la colección del vapor atmosférico de agua, tienen aplicación en la producción de cultivos altamente redituables, bajo ciertas condiciones. Sin embargo, debido a las altas inversiones iniciales, actualmente no presentan perspectivas amplias en las zonas áridas y semiáridas, hay otras tecnologías susceptibles de aplicarse para aprovechar el agua de lluvia para cultivar en gran escala y a varios niveles de inversión.

El manejo de la escorrentía representa una de las tecnologías más promisorias. Antiguamente se usaron los sistemas de manejo de escurrimiento superficiales en el desierto de Negev, para producir cosechas en áreas con precipitaciones anuales de 100 mm. Recientemente, estas técnicas han sido aplicadas en Israel, Australia, India, China, Estados Unidos de América, Brasil, México, Tripolitania, Túnez y otros países para mejorar los rendimientos unitarios de cultivos básicos, forrajeros y árboles frutales.

El control de la escorrentía y la desviación del agua proveniente de pequeños arroyos sobre las praderas y tierras agrícolas han reducido la erosión hídrica y han aumentado la eficiencia en el uso del agua que, de otra forma, sería desperdiciada y podría causar daño. Estos experimentos en el

Negev reflejan una combinación positiva de tecnología antigua y moderna.

Los Nabateanos se dedicaron a la producción de cultivos básicos en terrenos terrazados, usaban sus principios de irrigación para desarrollar sistemas en pequeña escala para la colección de agua, mientras que los sistemas recientes se caracterizan por concentrar el agua de lluvia en microcuencas dedicadas a árboles. Esta técnica representa un potencial económico, sobre todo para producir cultivos en aquellas regiones con un temporal deficiente.

Las técnicas de captación de agua de lluvia consisten en concentrarla en el área de siembra, dedicando para ello una área de escurrimiento para que pueda utilizarse para irrigar cultivos en hilera, cultivos densos y árboles; también permiten almacenar agua durante un período de barbecho para ser usada por el cultivo del próximo año.

La agricultura bajo riego es costosa y requiere amplia experiencia, además de precauciones muy específicas para hacerla permanente.

El aumento de la productividad en las tierras bajo riego que presentan problemas de anegamiento y salinidad, requiere de altas inversiones y de un manejo apropiado, así como investigación en las relaciones suelo-agua-planta (Anaya y Noyola, 1983).

El manejo del agua representará un constante reto a los especialistas durante las siguientes décadas. Sin embargo, solo la selección cuidadosa de las técnicas disponibles de riego que consideren la búsqueda de la eficiencia en el uso del agua bajo diferentes condiciones y que además consideran los factores sociales y económicos, podrá resolver los problemas de la disminución de la productividad de los sistemas de producción.

Los avances en la tecnología de irrigación, como los sistemas de riego por goteo, de aspersión y de succión, demuestran las

ventajas de la alta eficiencia en el uso del agua en aquellas situaciones donde el alto costo de los métodos de riego puede ser superado, así como saber dónde ser instalados los sistemas de drenaje.

Al considerarse cualquier método de riego, es necesario calcular cuidadosamente los requerimientos de riego y drenaje mediante estudios científicos de calidad del agua, así como las características del suelo y de los cultivos (Anaya, 1977).

El problema, hasta la fecha, ha sido la brecha que existe entre el conocimiento técnico-científico y su aplicación en la solución de los problemas, ésta podría ser superada a través de una mayor información y de la difusión de programas de adiestramiento a diferentes niveles.

AREAS PILOTO

Es necesario considerar el manejo integral de las cuencas hidrográficas ya que éstas representan unidades ecológicas en las que debe evitarse el deterioro (Fogel, 1985; PNUMA, 1984; SPP, 1980; UNEP, 1978, 1983; UNEP-ORPAL C., 1984).

Los programas de extensión agrícola, incluyendo aspectos económicos y sociológicos, deben ser reforzados e incrementados para difundir tecnologías que ayuden a desarrollar la unidad de producción (RENADES, 1982).

Las áreas de producción pueden ser el área que pertenece a una comunidad ecológica de tamaño no muy grande para que su control no sea imposible, ni tan pequeña que parezca una estación experimental.

Estas unidades deberán ser desarrolladas con un plan de acción previo y con la participación entusiasta del gobierno, de los técnicos y de las comunidades.

CONSERVACION DEL SUELO Y AGUA

La erosión es un fenómeno que data desde el inicio de la tierra, y el entendimiento

detallado a los mecanismos relacionados con la degradación ecológica y la productividad, así como la generación de tecnologías para su prevención y control, es muy reciente.

Durante el presente siglo la mayor parte de los países ha establecido programas nacionales de conservación de suelo, pero esto sólo ha logrado una pequeña disminución en la velocidad de destrucción de los diferentes sistemas de uso de la tierra.

El panorama devastador a nivel mundial está aumentando constantemente, especialmente en aquellas áreas donde la población hambrienta continúa, sin culpa alguna, destruyendo pastizales y bosques para producir cultivos básicos para su alimentación.

La recuperación de áreas extremadamente degradadas es muy costosa y, en la mayoría de los casos, requiere de asistencia técnica; ésta puede realizarse mediante prácticas de revegetación en aquellas áreas sujetas a la degradación hídrica y eólica, o bien protegiendo la vegetación del sobrepastoreo y mediante el control de cárcavas con estructuras temporales y permanentes.

En algunos casos se han usado las partes bajas de las cárcavas para el cultivo, siendo esto una técnica para controlar a la erosión. El mantenimiento de la cubierta vegetal mediante prácticas de un manejo racional en los pastizales y en los bosques es esencial para prevenir el avance de la desertificación.

En el caso de las tierras agrícolas, sobre todo en aquellas localidades en ladera y bajo condiciones de temporal, es indispensable controlar la erosión del suelo y optimizar la utilización del agua de lluvia para detener el deterioro ecológico y aumentar la productividad (CP, 1977).

PRODUCCION ANIMAL

La degradación física y biológica de los factores suelo y planta en las tierras dedicadas a la producción de pasturas en zonas

áridas y semiáridas, representa un problema mundial que está creciendo rápidamente y requiere atención inmediata; la escasez de forraje es cada vez mayor, así como la muerte del ganado; una buena alternativa es la *Kockia scoparia* (fam. Chenopodiaceae).

La solución lógica para restaurar la productividad es a través de programas integrales y multidisciplinarios a nivel local, que cuenten con la colaboración de las comunidades.

Existen numerosas tecnologías que han sido generadas durante las últimas décadas para lograr el manejo racional de los factores del ecosistema, ellas representan mecanismos importantes para incrementar la productividad de los agostaderos y para optimizar su uso.

Para prevenir la degradación en los pastizales es necesario combinar varias tecnologías como, por ejemplo, la rotación de pasturas, el control de la carga animal, cercas, resiembra, fertilización y una distribución adecuada de los abrevaderos para prevenir las concentraciones excesivas de animales y sus consecuentes daños. Existen muchos ejemplos de éxito al aplicar estas tecnologías en combinación con sistemas agrícolas, bajo una gran diversidad de condiciones sociales, niveles económicos y grados tecnológicos (Anaya, 1977).

PRODUCCION FORESTAL

Se calcula que una tercera parte de la población mundial depende de la leña para cocinar y alrededor del 50% de la madera que se obtiene cada año se utiliza para este propósito.

Existen muchas áreas donde se ha eliminado prácticamente la cubierta vegetal debido al exceso de extracción de leña y madera; el hombre está eliminando con esto a su mejor aliado para evitar y controlar la desertificación.

En el momento actual, la solución más promisoría para hacer frente a la escasez de

este tipo de energía es la plantación de árboles de crecimiento rápido. Existen numerosos ejemplos en el mundo, de la aplicación de esta posible solución, como la introducción de *Prosopis chilensis* en varios países, dado que este árbol se ha desarrollado bajo condiciones muy limitadas de lluvia y, sin embargo, produce leña para utilizarse como combustible.

Este tipo de vegetación puede utilizarse, además, como cortina rompevientos para reducir la erosión hídrica y eólica y presenta medidas complementarias para la conservación del agua y del suelo en regiones dedicadas a la agricultura y a la ganadería.

La forestación integral y de múltiple propósito en las comunidades ganaderas y agrícolas asegura la disponibilidad de recursos naturales y representa una arma poderosa para el combate de la desertificación, evitar el desequilibrio ecológico y mejorar las condiciones de vida de las comunidades.

PRODUCCION DE GRANOS BASICOS

La población de América Latina es aproximadamente de 400 millones de habitantes, con un consumo per cápita de 250 kg de granos básicos, lo que implica una demanda anual de 100 millones de toneladas.

Para incrementar el rendimiento de diversos cultivos, por unidad de área y tiempo, se vislumbran dos alternativas. La primera es lograr mayores rendimientos por unidad de superficie, mediante el empleo de insumos, tales como semillas mejoradas, fertilizantes, mayor eficiencia en el uso del agua y el control de plagas y enfermedades. La segunda alternativa contempla la apertura de nuevas tierras al cultivo; este procedimiento es el más común, pero se tiene el peligro de que una vez explotadas las nuevas tierras, éstas queden sujetas al efecto destructor de la erosión. En América Latina se puede contar con las dos alternativas, siempre y cuando éstas se apliquen en forma racional.

MANEJO INTEGRAL DE LOS RECURSOS AGUA, SUELO Y PLANTA

Se puede concluir que el manejo de los recursos suelo y agua es de gran importancia y que se debe dar atención especial a aquellas tierras bajo las condiciones siguientes: tierras bajo riego, tierras bajo condiciones de temporal, tierras bajo el sistema de roza-tumba-quema, tierras destinadas a actividades pecuarias y tierras destinadas a actividades forestales.

Algunas estrategias que se sugieren para prevenir y combatir la desertificación son las siguientes.

Establecer programas a corto y largo plazos para combatir los procesos de desertificación que están ocurriendo, principalmente en bosques, pastizales y zonas agrícolas de riego y temporal, aunque también se presentan en caminos, parques nacionales, asentamientos humanos, explotaciones mineras y en otros usos de la tierra.

Deberá considerarse a la cuenca hidrológica como unidad ecológica y de producción en donde se promueva la acción organizada de instituciones, técnicos y de los habitantes de las comunidades.

Reforzar las redes de información de tipo tecnológico a nivel nacional e internacional que permitan un intercambio real y efectivo de experiencias acumuladas bajo una gran diversidad de condiciones sociales, económicas y ecológicas; esto es conveniente ya que se cuenta con un número considerable de instituciones, que realizan investigación y generan tecnología.

Además, se deberán detectar aquellos obstáculos que impidan el desarrollo, innovación, adaptación y adopción de la ciencia y la tecnología.

Atender principalmente las localidades que cuenten con mayores densidades de población, ya que la presión sobre la tierra es grande y existe la posibilidad de que la degradación

física y biológica del ecosistema se vea favorecida.

Establecer áreas piloto representativas de varias condiciones ecológicas en las cuales se contemplen los aspectos de educación, investigación y demostración, que sirvan además como centros de capacitación y que auxilien a la difusión de la experiencia a otras áreas de condición semejante, dando atención especial a aquellas disciplinas como manejo de cuencas, conservación de suelos, captación y aprovechamiento del agua de lluvia, que es donde se encuentran serias limitaciones en la mayoría de los países. Esto requiere de la colaboración organizada de especialistas en las ciencias naturales, sociales y económicas.

Para el año 2000, 6,350 millones de seres humanos necesitarán alimentos y bienestar social, y si los recursos naturales se siguen explotando irracionalmente, esto ocasionará que pronto nuestro planeta sea desértico o inhabitable, incapaz de sostener la vida que conocemos actualmente. La lucha contra la naturaleza y contra el hombre mismo es ardua y difícil; sin embargo, no todo está perdido, aún queda la esperanza de lograr la victoria, mediante la alianza entre comunidades y países para ganar la batalla contra la desertificación y así salvar de la miseria, el hambre y la muerte a nuestros propios descendientes y a millones de habitantes de nuestro planeta.

LITERATURA CITADA

AMBROGGI, P.R. 1980. Water. Scientific American Sep. 243, No. 3, Pág. 100-116.

ANAYA, G.M. 1977. Technology and desertification: "Its causes and consequences". Secretariat of the United Nations Conference on Desertification. Pergamon Press. Pág. 319-448.

ANAYA, G.M. 1981. Research methodologies for "in situ" rain harvesting in rainfed agriculture. *In*: Rainfall collection for

agriculture in arid and semiarid regions. Edited by G.R. Dutt, C.F. Hutchinson and M. Anaya-Garduño. Commonwealth Bureau of Agriculture England. Pág. 43-47.

ANAYA, G.M. 1983. Strategies for the prevention of and fight against desertification. *In: Nature resources and development in arid regions.* Edited by E. Campos-López and R.J. Anderson. West view Press. Pág. 131-144.

ANAYA, G.M. y H. NOYOLA I. 1983. Causas del ensalitramiento de los suelos y medidas para su prevención y control en México. Reunión Internacional sobre Suelos Afectados por Sales en Latinoamérica. Macaray, Venezuela.

ANAYA, G.M., C.A. ORTIZ S., J.W. ESTRADA, J.L. OROPEZA M.M. y A. CORONA V. 1982. Aplicación de la metodología de evaluación y cartografía de la desertificación en tres áreas de prueba en México. *In: Methodology for desertification assessment and mapping.* FAO/UNEP, Rome, Italy.

BARNEY, O.G. 1980. The global report to the president, entering the twenty-first Century. Council on Environmental Quality and the Dept. of State. Washington, D.C.

BURINGH, P.G. 1982. Potentials of world soils for agricultural production. 12th International Congress of Soil Science. New Delhi, India. 9 Pág.

BURINGH, P.G., G.L. STEAT y P.A. VINK. 1962. Some techniques and methods of soil survey in the Netherlands. *Neth. Agric. Sci.* Vol. 10, 2: 157-172.

CEPAL. 1978. 25 años en la agricultura de América Latina: Rasgos Principales 1950-1975. 95 Pág. Santiago de Chile, República de Chile.

CP. COLEGIO DE POSTGRADUADOS. 1977. Manual de Conservación del Suelo y Agua. Chapingo, Méx. México.

DREGNE H.E. 1982. Desertification in the Americas. Desertification and Soils Policy Symposia Papers III. 12th International Congress of Soil Science. New Delhi, India. Pág. 3-13.

FAO/UNEP. 1982. Methodology for desertification assessment and mapping. 35th Expert Consultation Group on Desertification. Rome, Italy.

FOGEL, M.M. 1985. Management of vegetation cover and techniques to increase water yields. IX Congreso Forestal Mundial.

HIGGINS, G.M. *et al.* 1982. The agro-ecological zone analysis of potential population supporting capacities: Indicators of desertification. FAO/UNEP. Expert Consultation, Rome, Italy.

IUCN and UNEP. 1982. An introduction to the world conservation strategy. 28 Pág. Buena Park, California.

KANWAR, J.S. 1982. Managing soil resources to meet the challenges to mankind. Presidential Address. 125th International Congress of Soil Science. New Delhi, India. 32 Pág.

MILAS, S. 1984. Desert spread and population boom. Desertification control bulletin. UNEP. Pág. 7-16. Nairobi, Kenya.

ORTIZ, S.C. y M. ANAYA G. 1982. Metodología para la evaluación y cartografía de la desertificación en México. 1a Reunión ALCA, México, D.F.

ORTIZ, S.C. y M. ANAYA G. 1983. La relación capacidad alimentaria/densidad de población como un criterio del riesgo de desertificación en la República Mexicana. 1a Reunión ALCA México, D.F.

PNUMA. 1984. Compendium of national activities in the implementation of the plan of action to combat desertification. Governing Council 12 Session. UNEP/G.C. 12 Background Paper 3.

RENADES. 1982. Experiencia mexicana sobre desertificación y aprovechamiento de las zonas áridas. Reunión de expertos designados por los gobiernos sobre desertificación en las Américas y el Caribe. Cocoyoc, México.

SEPULVEDA, L. 1985. Se quema el 50% de la producción de madera. Periódico "Uno más Uno". Julio 3. México, D.F.

SPP. SECRETARIA DE PROGRAMACION Y PRESUPUESTO. 1980. Plan Nacional de Acción para Combatir la Desertificación. Síntesis de Avances. México, D.F.

UNEP. 1978. Directrices para los planes nacionales de acción para combatir la desertificación, 16 pág. Nairobi, Kenya.

UNEP. 1983. Formulation of national soil policies. Edited by R.J. Olembo. 32 Pág. Nairobi, Kenya.

UNEP-ORPAL C. 1984. Compendium of national activities in the implementation of the plan of action to combat desertification. UNEPG.C. 12/Back-ground Paper.

TOLBA, M. 1983. Earth matters. UNEP. Nairobi, Kenya.

LOS NITRATOS PROVENIENTES DE LA AGRICULTURA

Una Fuente de Contaminación de los Acuíferos.

Nitrates from Agriculture: A Source of Groundwater Contamination.

Javier Z. Castellanos¹⁾ y Juan José Peña-Cabriales²⁾

- 1) Campo Exp. Bajío CIFAP-Gto., Apartado Postal 112, 38000 Celaya, Gto.
2) CINVESTAV, Unidad Irapuato, Apartado Postal 629, 36500 Irapuato, Gto.

Palabras clave: Agua subterránea, Percolación.

Index words: Ground water, Percolation.

RESUMEN

En la agricultura moderna el uso de agroquímicos es absolutamente necesario para mantener altos rendimientos. Las aplicaciones excesivas de fertilizante nitrogenado favorecen las fugas de nitrógeno hacia el subsuelo. El N-NO₃ lixiviado es transportado lentamente a través del agua de drenaje y eventualmente llega al manto freático en donde puede ocasionar la contaminación del acuífero en condiciones de transporte excesivo. El excedente de nitrógeno aplicado y la lámina de drenaje son las dos variables más importantes que controlan el flujo de N-NO₃ al subsuelo.

Los nitratos resultan tóxicos para los animales de sangre caliente, debido a que en el tracto digestivo son transformados a nitritos (NO₂⁻) por las bacterias que colonizan el mismo, con el resultado neto de una metahemoglobinemia, es decir, la hemoglobina de la sangre se transforma en

metahemoglobina perdiendo por lo tanto la capacidad de transportar oxígeno a través del sistema vascular. En estas condiciones, puede llegar a ocurrir la anoxia si la cantidad de N-NO₃ ingerida es alta, o bien puede haber trastornos metabólicos en el organismo. Estos daños son más severos en mujeres embarazadas y niños lactantes. Por otro lado, se ha reportado recientemente que la ingestión de NO₃⁻ conjuntamente con ciertos fármacos antiparasitarios conduce a la formación de nitrosaminas, compuestos carcinogénicos que atentan contra la salud de los humanos.

En el caso del agua para consumo humano se señala un nivel crítico de 10 ppm como N-NO₃ y de 100 ppm para uso agropecuario.

En México no se habían reportado estudios en relación a la contaminación del agua por nitratos; en una publicación reciente se reportaron sitios con severos problemas de contaminación. Además, el problema puede estar presente en otras regiones por lo que es importante realizar diagnósticos al respecto, tanto para contaminación de aguas superficiales como subterráneas. En el caso de los acuíferos el proceso de contaminación toma decenas de años, e igual período, lograr que las medidas correctivas tengan algún efecto.

El presente ensayo pretende ofrecer un panorama sobre la problemática de la contaminación de los acuíferos por nitratos, discutiendo los factores involucrados en el proceso. Muestra además los resultados de estudios realizados en México a este respecto y publicados recientemente.

SUMMARY

In modern agriculture the use of agrochemicals is absolutely necessary to maintain high yields. Excessive rates of nitrogenous fertilizers abet the N leaching to the subsoil. Leached N-NO₃ is slowly transmitted by the drainage water, eventually contaminating the groundwater. The excess of applied nitrogen and the drainage water are the two most important variables controlling N-NO₃ emissions to the subsoil.

Nitrates (NO₃⁻) are toxic compounds for animals and humans since they are transformed to nitrites (NO₂⁻) by the bacteria in the digestive tract, causing methemoglobinemia, a condition in which blood loses its capacity for conveying oxygen throughout the vascular system. Under these circumstances asphyxia may occur if the amount of ingested N-NO₃ is high or metabolic problems to the organism may occur. The resulting damage is more severe in pregnant women and unweaned babies. On the other hand, it has been recently reported that ingesting NO₃ together with certain medications prescribed to kill parasites causes the formation of nitrosamines, a carcinogenic compound, which is dangerous to human health.

The reported critical level of N-NO₃ for human consumption is 10 ppm and 100 ppm for agricultural purposes.

In Mexico there were no reported studies on contamination by nitrates; however a recent report presented information on areas with severe contamination problems. Moreover, contamination may also be present in other

regions; therefore, diagnostic studies in surface as well as subterranean waters in several regions of the country should be conducted. The process of groundwater contamination takes several decades and as much time for corrective measures to have an effect. The purpose of the present article is to offer an overview of groundwater contamination by nitrates and the factors involved in the contamination process. The results of contamination studies recently published in Mexico are also included.

INTRODUCCION

En la agricultura moderna el uso de los agroquímicos es absolutamente necesario para mantener altos rendimientos y buena calidad de los productos agrícolas. Tales agroquímicos, una vez que llegan al suelo, son arrastrados por el agua y eventualmente pueden llegar a las reservas acuíferas que el hombre utiliza. Por esta razón, las prácticas agrícolas involucradas en la utilización de agroquímicos deben examinarse cuidadosamente para estudiar su repercusión en la calidad del agua.

Hasta hace algunos años el uso de agroquímicos estaba enfocado a realizar una óptima explotación del cultivo sin considerar el perjuicio que se pudiera ocasionar al medio ambiente. Esto ha sido aún más evidente en la utilización de productos fertilizantes, dado que no existen riesgos inmediatos en el cultivo, como ocurre con los herbicidas, que pudieran limitar las dosis a utilizar por parte de los agricultores.

Es evidente que entre los fertilizantes utilizados en el mundo, los nitrogenados juegan el papel más importante y son probablemente los que más influencia han tenido sobre el incremento en rendimiento de los cultivos. En el Cuadro 1 se presenta el consumo mundial de fertilizantes para el período 1938-76. Nótese que el consumo de nitrógeno se ha incrementado 15 veces en dicho período, mientras que en los otros dos nutrimentos el aumento ha sido tan sólo de ocho veces. Se estima que en 1987 el consumo

mundial de nitrógeno ascendió a 78 millones de toneladas (FAO/FIAC, 1982).

Debido al fuerte impacto que tiene la fertilización nitrogenada sobre el rendimiento del cultivo, los agricultores de áreas tecnificadas suelen aplicar elevadas dosis de nitrógeno sin darse cuenta de que gran parte

Cuadro 1. Consumo de los fertilizantes nitrogenados fosforados y potásicos en el mundo. 1938-76 (Olson, 1978).

Año	Consumo de:		
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
Millones de toneladas			
1938 - 39	2.6	3.6	2.8
1953 - 54	5.2	6.3	5.7
1959 - 60	9.7	9.7	8.6
1964 - 65	16.8	13.8	12.1
1967 - 68	24.2	16.7	14.1
1973 - 74	38.7	24.2	20.7
1975 - 76	40.9	26.2	24.7
1987 - 88	78.0 ¹	-	-

¹ Estimado (FAO/FIAC, 1982).

de éste puede estar sufriendo pérdidas por lixiviación, desnitrificación o volatilización. La magnitud de tales pérdidas repercute negativamente sobre la economía del productor y, lo que es peor, sobre la calidad del medio ambiente.

LAS TRANSFORMACIONES DE NITROGENO EN EL SUELO.

El nitrógeno existe en el suelo simultáneamente en formas orgánicas e inorgánicas, cuyas transformaciones reversibles se llevan a cabo continuamente. Estas transformaciones se realizan mediante procesos microbiológicos y químicos. Algunos de los procesos de transformación se presentan esquemáticamente en la Figura 1.

La mineralización es un proceso microbiológico de conversión de N-orgánico a amonio en el cual participan hongos, bacterias y actinomicetos y se optimiza con niveles cercanos al 60 ó 70% de la capacidad de retención de humedad del suelo, con pH de 6 a 8 y con temperaturas altas con límites de 65°C. Inmovilización es el proceso opuesto a mineralización, debido a que involucra la asimilación microbiológica de formas inorgánicas hacia formas orgánicas. Por lo

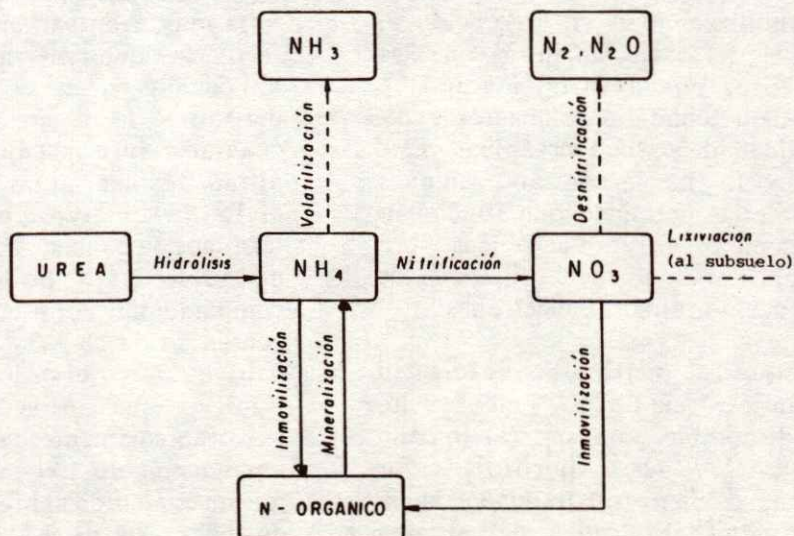


Figura 1. Representación esquemática de las interrelaciones entre los principales procesos de transformación de N en el suelo.

tanto, como ambos procesos ocurren simultáneamente en el suelo, sólo el resultado neto se puede observar. Un incremento neto en el contenido de N inorgánico es evidente cuando el proceso de mineralización prevalece, por el contrario, un decremento neto en las formas inorgánicas ocurre cuando el proceso de inmovilización es predominante.

No obstante que existen grandes cantidades de N orgánico en el suelo, sólo una pequeña fracción se encuentra disponible para los microorganismos. Esta fracción se conoce como nitrógeno orgánico potencialmente mineralizable y constituye a lo sumo el 10% del N orgánico total del suelo. Por otro lado, la fracción de nitrógeno orgánico potencialmente mineralizable de residuos orgánicos relativamente nuevos tales como estiércoles y residuos de cultivo varía de un 30 a un 90% (Bouldin *et al.*, 1984; Castellanos y Pratt, 1981; Pratt *et al.*, 1976).

La nitrificación es la oxidación microbiológica de NH_4^+ a NO_3^- y de cuya transformación son responsables las bacterias de los géneros: *Nitrosomonas* y *Nitrobacter*, principalmente. El nitrógeno mineral puede perderse del suelo bajo ciertas condiciones en la forma de gas, debido a la volatilización de NH_3 o a la desnitrificación de NO_3^- . El proceso de volatilización se ve favorecido al aumentar el pH del suelo; mientras que las pérdidas gaseosas por desnitrificación se favorecen mediante condiciones anaeróbicas y alta disponibilidad de carbón orgánico. Este último proceso lo llevan a cabo algunos géneros de bacterias del suelo que funcionan normalmente como organismos aeróbicos, pero que en ausencia de O_2 pueden utilizar a los nitratos como aceptor final de electrones.

Una vez que el nitrógeno inicia su acumulación en la forma de NO_3^- en el suelo, se encuentra disponible para ser: (a) tomado por la planta, (b) perdido por desnitrificación, o bien (c) lixiviado hacia el subsuelo, fuera del alcance del sistema radical de la planta. La velocidad de absorción por parte de la planta, determina la

cantidad de N- NO_3 sujeto a pérdidas por desnitrificación o lixiviación.

La contaminación del agua por residuos de agroquímicos puede ocurrir por escurrimiento de aguas superficiales o por percolación hacia el subsuelo. En este ensayo sólo se aborda este último proceso. Para el caso de contaminación en aguas superficiales se pueden consultar otros trabajos (Salas, 1988).

El N- NO_3 lixiviado mediante la percolación del agua es transportado lentamente hacia el subsuelo y eventualmente llega al manto freático en donde puede ocasionar la contaminación del acuífero en condiciones de transporte excesivo.

EL MOVIMIENTO DE N- NO_3 EN EL SUELO.

La inmensa mayoría de los suelos bajo riego, debido a su fracción arcillosa, está cargada negativamente. Por lo tanto, el anión nitrato es repelido de la superficie de los coloides del suelo y puede ser lixiviado a través del agua de drenaje.

Los resultados de los análisis de suelo se pueden presentar en formas muy variadas. Algunas de ellas pueden dar la impresión de que una potencial contaminación por N- NO_3 sería muy eventual, sin embargo, el peligro es real. Hay que tener en cuenta que durante la lixiviación no es el suelo sino la solución del mismo lo que se desplaza. Por lo tanto, cualquier información sobre los niveles de nitrato residual antes, durante y después del ciclo de cultivo debe de expresarse en términos de concentración con base en solución de suelo para poder realizar cualquier comparación. Por ejemplo, un valor típico del contenido de N- NO_3 después de un ciclo de cultivo está en el orden de 3 a 6 ppm, lo que significa que en la capa arable de 1 ha, existirán solamente de 10 a 25 kg de N- NO_3 potencialmente lixiviables. Sin embargo, el mismo contenido expresado con base en solución de suelo sería de 3 a 7 veces mayor debido a que el agua contenida en dicho suelo ocupa un volumen de 3 a 7 veces menor al del suelo

mismo, es decir, que la concentración con base en solución del suelo viene a ser de 10 a 40 ppm de $N-NO_3$. El desplazamiento de esta solución hacia el agua del subsuelo representa un peligro de contaminación, pues ya de por sí rebasó el nivel crítico para consumo humano.

Las mencionadas concentraciones de $N-NO_3$ en el suelo no ofrecerían ningún riesgo de no aplicarse un exceso de agua. Sin embargo, en la práctica es necesario proporcionar al suelo un exceso de agua para el control de la salinidad. Además, la ineficiencia en la aplicación del riego que usualmente ocurre en los terrenos agrícolas, ocasiona que se apliquen láminas excesivas, lo que conduce a la lixiviación de $N-NO_3$ en muchas tierras de cultivo.

La cantidad de agua de drenaje que pasa a través de la zona radical varía substancialmente no sólo de una área a otra, sino también en forma apreciable entre los sistemas de riego. En términos generales, la fracción de lavado va de un 20 a 40% de la lámina de riego. Esto significa que si a lo largo de un ciclo de cultivo se aplica una lámina de 100 cm, existen de 20 a 40 cm de agua disponibles para lixiviar los nitratos.

LA ESTIMACION DEL FLUJO DE NITRATOS.

Para calcular la emisión de $N-NO_3$ de las tierras bajo riego es necesario estimar la cantidad de agua de drenaje (Ld) y la concentración de $N-NO_3$ en dicha agua. El producto de dichos factores es la emisión de $N-NO_3$ fuera de la zona radicular:

$$\text{flujo de } N-NO_3, \text{ kg ha}^{-1} \text{ año}^{-1} = N-NO_3 \times Ld \quad (1)$$

La lámina de drenaje es la diferencia entre la lámina de riego (Li) y el uso consuntivo (demanda hídrica del cultivo). Dado que es difícil calcular el uso consuntivo, una medida más práctica para estimar el volumen de drenaje es con base en la fracción de lavado (Lf) expresada mediante la concentración relativa de cloruros en el agua de riego (Cli) y en el agua de drenaje (Cld) (Pratt y Adriano, 1973).

$$Lf = \frac{Cli}{Cld} \quad (2)$$

donde:

Cli es la concentración de cloruros en el agua de riego y Cld la concentración de cloruros en el agua de drenaje; esta última se obtiene de muestras de suelo de la zona no saturada (se considera zona no saturada aquella que está a una profundidad mayor de 150 cm) y del contenido de humedad de dichas muestras. Con los datos de Lf y la lámina de irrigación (Li), se calcula la lámina de drenaje (Ld):

$$Ld = Li \times Lf \quad (3)$$

La lámina de irrigación incluye lámina de riego más precipitación pluvial.

La concentración de $N-NO_3$ se obtiene también de la zona no saturada:

$$(N-NO_3)_{as} = (N-NO_3)_{es} \frac{ps}{Pw} \quad (4)$$

donde:

as = agua del suelo

es = extracto de saturación

ps = contenido de humedad de la pasta saturada

Pw = contenido de humedad del suelo al momento del muestreo

TIEMPO DE TRANSITO HACIA EL MANTO FREATICO.

Una vez estimada la lámina de riego anual y la fracción de lavado, se puede estimar el flujo de agua hacia el subsuelo y el tiempo que tomará a dicha agua recorrer el subsuelo hasta llegar al manto freático. Adriano *et al.* (1972) calcularon el tiempo de tránsito de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$T = \frac{S\theta}{D} \quad (5)$$

donde: T = tiempo de tránsito en años; S = profundidad del perfil del suelo en m, Θ = contenido de agua del suelo con base en volumen, de la zona no saturada y D = lámina de drenaje (m año^{-1}).

Pratt *et al.* (1972), usando la ecuación (5), calcularon un tiempo de tránsito de 12 a 47 años para que los nitratos se desplazaran a través de 30 m de la superficie, para el cultivo de naranjo, con una fracción de lavado de 0.4.

Si estimamos que para un sitio de 20 m de profundidad al manto freático, con un contenido de agua en la zona no saturada de $0.15 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ de suelo y una lámina de drenaje de 50 cm tenemos entonces que:

$$T = \frac{20 \text{ m} \times .15}{0.5 \text{ m año}^{-1}} = 6 \text{ años}$$

tomaría 6 años el transporte de nitratos hasta el manto freático. Si el manto freático estuviera a 100 m, tomaría 30 años recorrer dicha distancia, para tales condiciones de suelo y manejo de agua.

PREDICCIÓN DE LA EMISIÓN DE NITRATOS

Para estimar la concentración de nitratos en la zona no saturada de tierras de riego, Pratt y Adriano (1973) propusieron la siguiente ecuación:

$$\text{N-NO}_3 \text{ (ppm)} = \frac{10 \text{ Ne}}{D}$$

donde: Ne = exceso de nitrógeno definido como la diferencia entre el N adicionado y el N tomado por la planta. Esta ecuación se ajusta en 20% para sitios donde no existe considerable pérdida por desnitrificación o ganancias por mineralización.

De varios estudios en el sur de California (McNeal y Pratt, 1978), se obtuvo una ecuación empírica para la predicción de la emisión de N-NO_3 :

$$N_L = 0.20 (N_i - D)^{0.712}$$

donde:

$$N_L = \text{N-NO}_3 \text{ lixiviado } \text{kg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$$

$$N_i = \text{dosis aplicada de N } \text{kg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$$

$$D = \text{volumen de agua de drenaje } \text{cm ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$$

En la Figura 2 se presentan los valores estimados y medidas de acuerdo a dicha ecuación.

INFLUENCIA DEL MANEJO DEL NITROGENO SOBRE SU EFICIENCIA DE UTILIZACIÓN

La emisión de N-NO_3 al subsuelo depende, como antes se mencionó, del excedente de nitrógeno que permanece en el suelo. Obviamente cuando se aplican dosis excesivas, una mayor cantidad de N-NO_3 estará disponible para ser eliminada del área radical. En la Figura 3 se muestran los resultados de un experimento de cinco años (Broadbent y Carlton, 1978), en donde se presenta la relación entre rendimiento medio, absorción de nitrógeno y pérdidas promedio de N anualmente. Entre las dosis de aplicación de 0 a 112 kg ha^{-1} , 1 kg de N produjo 55 kg de grano y 19.8% de este N fue perdido del sistema agrícola.

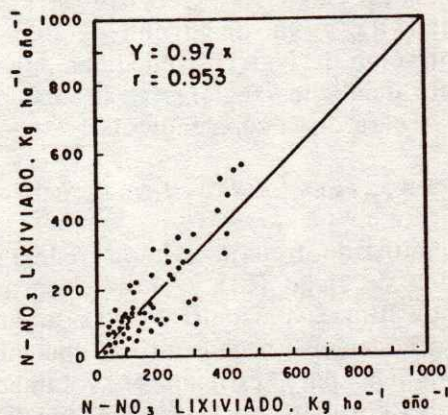


Figura 2. Relación entre la emisión de N-NO_3 medida y estimada. Los valores estimados se obtuvieron con base en la ecuación $N_L = 0.20 (N_i - D)^{0.712}$ (McNeal y Pratt, 1978).

Entre las dosis de 112 y 224 kg ha⁻¹ 1 kg de N produjo 17 kg de grano y se perdió el 43.1% del nitrógeno. Finalmente, dosis superiores a 224 kg de N ha⁻¹ ocasionaron una pérdida de N del sistema del 68.1%.

Estudios conducidos por Adriano *et al.* (1971) y Pratt y Adriano (1973) en el sur de California, reportan que las pérdidas por lixiviación de N promediaron de un 25 a un 50% del N aplicado en la mayoría de los cultivos. Los mismos estudios indican que los productores aplicaban 135 kg de N ha⁻¹ por encima del N absorbido por las cosechas.

En la lixiviación de N-NO₃, la textura del suelo es importante, ya que en suelos arcillosos se presenta un grado más alto de anaerobiosis después del riego y por lo tanto ocurre un mayor grado de desnitrificación quedando una menor cantidad de N-NO₃ en el suelo, disponible para ser lixiviado. En la Figura 4 se presenta la relación encontrada entre el contenido de arcilla en la sección del suelo no saturado y el contenido de N-NO₃ con base en suelo seco.

El manejo del agua y fertilizantes a través de la estación de cultivo y después de ésta, afecta el potencial de lixiviación de N-NO₃. McNeal y Carlile (1976) realizaron un estudio detallado de este aspecto para el cultivo de papa en un suelo arenoso.

Una de las variables más importantes que afecta la lixiviación de N-NO₃ hacia el subsuelo es el volumen de drenaje. En la Figura 5 se presenta la correlación entre el N-NO₃ lixiviado y el volumen de drenaje para 58 sitios de muestreo.

LOS DESECHOS ANIMALES O MUNICIPALES COMO FUENTE DE CONTAMINACION DE N-NO₃ EN LA AGRICULTURA.

Los sitios de desechos animales o municipales ofrecen un particular peligro para la contaminación por N-NO₃ debido a las altas dosis de nitrógeno que comúnmente se aplican.

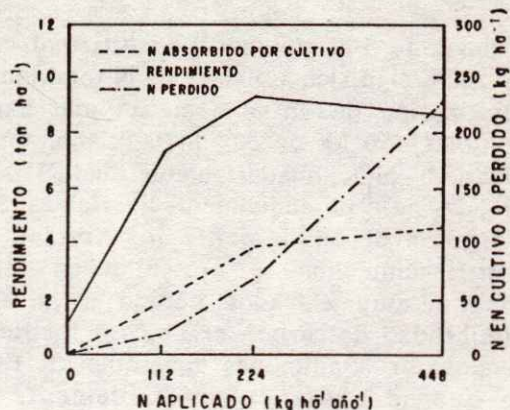


Figura 3. Rendimiento medio de grano y balance de N en función de la dosis aplicada durante cinco años (Broadbent y Carlton, 1978).

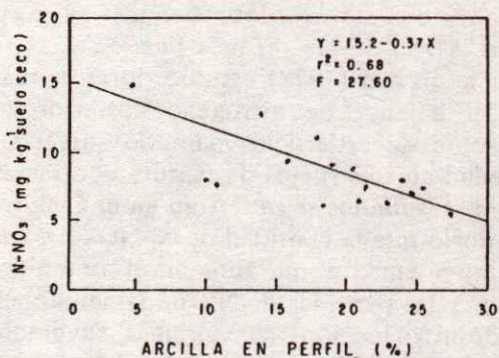


Figura 4. Relación entre concentración promedio de N-NO₃ (1.8 a 8 m de profundidad) y contenido promedio de arcilla de la sección para algunos perfiles de suelo (Lund *et al.*, 1974).

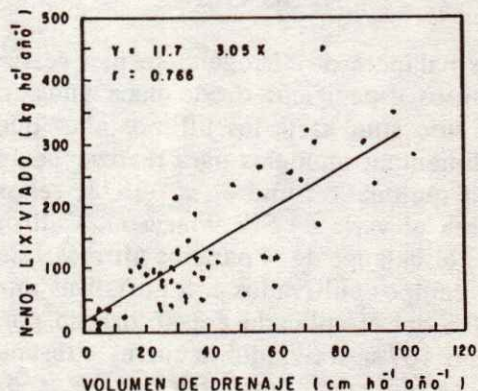


Figura 5. Correlación entre el N-NO₃ lixiviado y el volumen de drenaje para 58 sitios de muestreo en la costa y valles interiores de California (Letey *et al.*, 1978).

Una dosis de 100 ton ha^{-1} de estiércol con 1.5% de N, significa 1,500 kg de N total, cuya mineralización de un 30% en un año haría disponibles 450 kg de N. Si la planta toma 100 kg de $N-NO_3$, quedarían en el suelo 350 kg de $N-NO_3$ ha^{-1} potencialmente lixiviables. Sin embargo, afortunadamente los niveles de desnitrificación que se presentan en estos sitios son muy elevados debido a la alta disponibilidad de carbón orgánico y facilidad para alcanzar condiciones anaeróbicas. Esto hace que se abata considerablemente el potencial de lixiviación de $N-NO_3$.

Existen muchas contradicciones en la literatura acerca de la cantidad de N potencialmente lixiviable en los sitios de desecho de estiércoles, basuras y aguas negras. Una de las razones puede ser el tipo de suelo. Pratt (1978) estudió durante cuatro años el balance de nitrógeno posterior a la aplicación de estiércoles para dos niveles de humedad en tres suelos de textura contrastante y cuyos resultados se muestran en el Cuadro 2. Es notorio que la cantidad de $N-NO_3$ lixiviado disminuye a medida que aumenta el contenido de arcilla, y las pérdidas de N (fundamentalmente por desnitrificación) se ven más favorecidas en el suelo arcilloso. En relación al efecto de la dosis de estiércol sobre el balance de nitrógeno para el mismo experimento los datos se presentan en la Figura 6.

EL BALANCE REGIONAL DE NITROGENO.

Los balances de nitrógeno se han realizado para sitios específicos desde hace años, pero no ha sido sino hasta los últimos años que se han alimentado modelos para realizar balances a nivel regional. Lund *et al.* (1978) reportan que para el valle de Sta. María en California (EUA) el balance de N para los últimos 12 años en los campos cultivados con hortalizas mostró que 30% del N aplicado era absorbido por las cosechas, 37% lixiviado hacia el subsuelo y 33% se perdía en formas gaseosas, fundamentalmente por desnitrificación.

Un estudio en más detalle es el presentado por Ayers (1978), el cual se muestra en el

Cuadro 2. Distribución del nitrógeno mineral proveniente del estiércol y de la materia orgánica del suelo después de cuatro años de aplicar una dosis de 79 ton de estiércol $ha^{-1}año^{-1}$ con una concentración promedio de 1.63% N para tres tipos de suelo (Pratt, *et al.* 1976).

Serie de suelo	Nivel de riego	Nitrógeno			
		Nm	Nc	N _L	N _P
kg ha^{-1}					
Hanford	Bajo	3684	1840	1225	589
(Text. ligera)	Alto	3780	1678	1699	391
Ramona	Bajo	3894	1564	414	1871
(Text. media)	Alto	3661	1549	661	1451
Dominó	Bajo	4356	1694	316	2346
(Text. arcillosa)	Alto	4127	1464	372	2291

Nm = N mineralizado

Nc = N absorbido por el cultivo

N_L = N lixiviado

N_P = N perdido en formas gaseosas

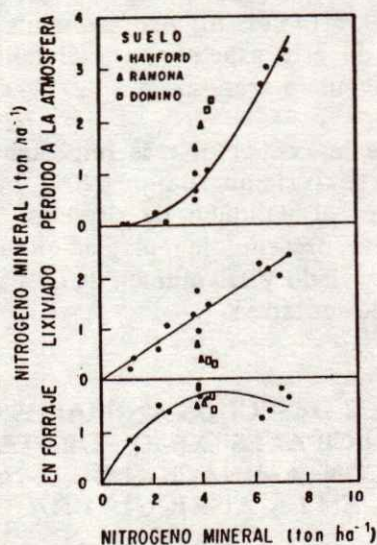


Figura 6. Relación entre el N absorbido, lixiviado y perdido a la atmósfera en función del N total mineral proveniente del estiércol (Pratt, 1978).

diagrama de la Figura 7. El estudio fue realizado para una cuenca cerrada de 142,000 hectáreas en el sur de California y se pueden observar todos los flujos de nitrógeno en el sistema.

EL IMPACTO DE LA LIXIVIACION DE N-NO₃ SOBRE LA CONTAMINACION DEL MANTO FREATICO.

El N-NO₃ que se transporta hasta el manto freático presenta la amenaza de que en el agua alcance concentraciones tóxicas. Esto significa un peligro potencial, pues al ser consumida por animales de sangre caliente ocurre una reducción en el tracto digestivo provocando la metahemoglobinemia, lo cual puede llegar a ser fatal especialmente en humanos y animales rumiantes. En el caso de infantes, el riesgo es mucho mayor. Los niveles máximos recomendados para uso público

son de 10 ppm de N-NO₃ y para uso agrícola y pecuario 100 ppm (Water Quality Criteria Committee, 1972).

Actualmente, la concentración de N-NO₃ en el agua del subsuelo se está incrementando en algunas áreas. En un estudio en Nebraska, Olson *et al.* (1973) muestrearon los mismos pozos en 1961 y 1971 y encontraron que la concentración de N-NO₃ se incrementó de 2.4 a 3.1 ppm para dicho periodo. En otro estudio en el sur de Nueva Inglaterra, Young *et al.* (1977) estimaron un incremento de 4 ppm de 1971 a 1977.

Adriano *et al.* (1971) reportaron en un estudio realizado en el área de Chino, California, al este de Los Angeles, donde se localiza una importante cuenca lechera, una concentración promedio de 54 ppm de N-NO₃ en la parte superficial del manto freático. Sin

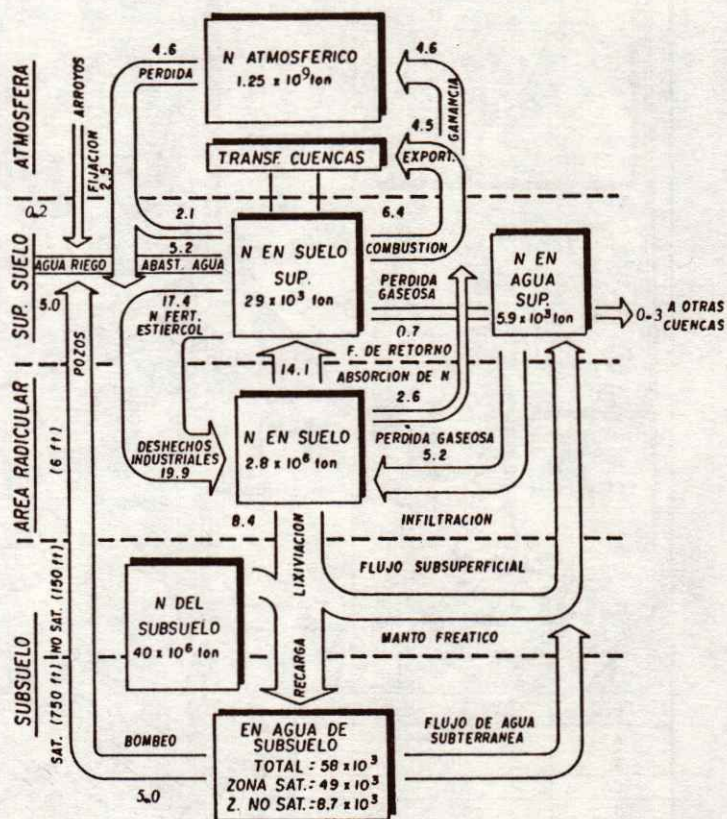


Figura 7. Reservas, flujo y balance de nitrógeno para una cuenca de 142,000 ha en el sur de California. Las cantidades de N en las reservas son ton métricas y los números en las flechas indican los flujos en miles de toneladas año⁻¹ (Ayers, 1978).

embargo, pozos más profundos en la misma área reportaron concentraciones de solo 6 ppm. La concentración se incrementa conforme la parte superficial del acuífero se mezcla con agua proveniente del riego.

Viets y Hageman (1971) reportaron que el peligro de contaminación por $N-NO_3$ depende principalmente del tiempo de residencia del agua en el acuífero, si este es corto tal como en las regiones húmedas, los nitratos no se acumulan, o bien las medidas correctivas se podrían efectuar rápidamente. Sin embargo, donde el tiempo de residencia es largo, la contaminación puede no ser evidente durante

décadas después de que el proceso se ha iniciado y un tiempo igualmente largo sería requerido para solucionar este problema.

ESTUDIOS SOBRE LA CONTAMINACION DE $N-NO_3$ EN EL ACUIFERO DE LA COMARCA LAGUNERA.

Debido a algunos reportes aislados de la presencia de $N-NO_3$ en algunas norias de la Comarca Lagunera, Castellanos (1989) realizó en marzo de 1981 un muestreo intensivo en 187 norias distribuidas en toda la Comarca Lagunera (Figura 8). Para toda la región el rango de $N-NO_3$ detectado fue desde 0.06 ppm a

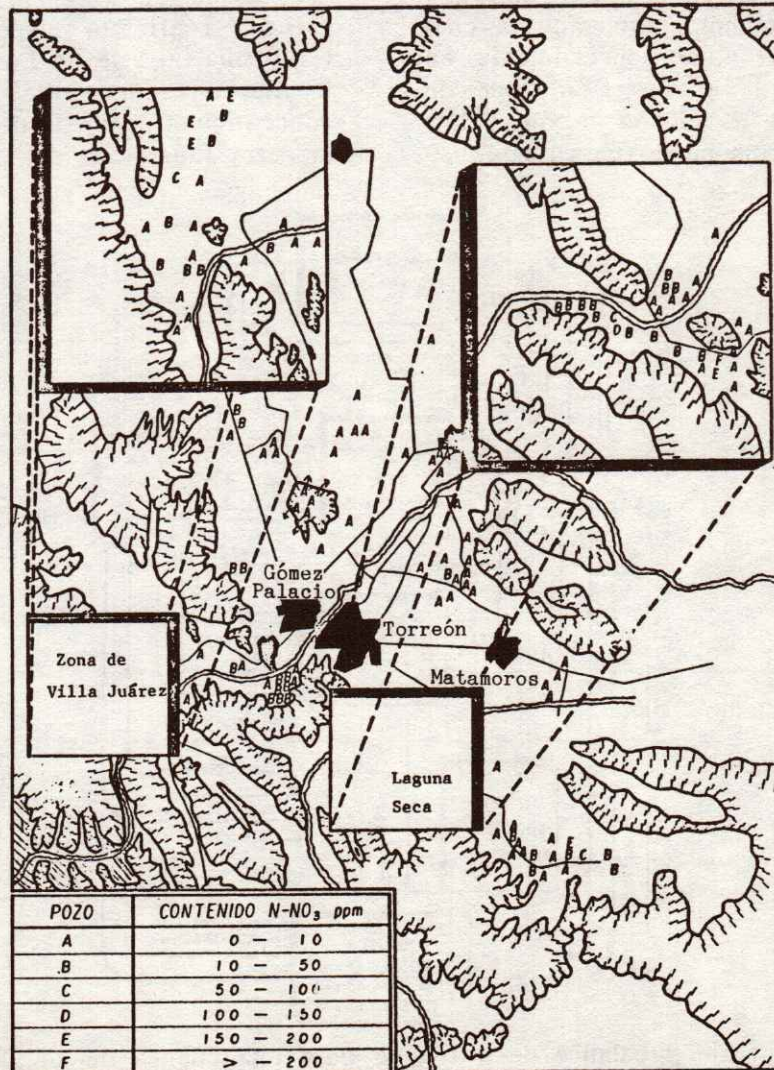


Figura 8. Contenido de $N-NO_3$ en las norias de la Comarca Lagunera en 1981 (Castellanos, 1989).

207.2 ppm, cuyo valor máximo resulta inadecuado incluso para uso agropecuario. El promedio general fue de 23.4 ppm. En virtud de que los valores medios fueron variables entre áreas, subdividió la región en tres áreas: Laguna Seca, región cercana al Río Nazas y Zona Norte, que cubre Gómez Palacio, Torreón, Matamoros, Fco. I. Madero y San Pedro (esta última ocupa la gran mayoría de la superficie). Los resultados de los análisis se muestran en el Cuadro 3.

Los resultados del Cuadro 3 y de la Figura 9 nos muestran que la concentración de $N-NO_3$ es variable para cada región en la Comarca Lagunera, siendo la zona norte la que mostró los más bajos niveles de $N-NO_3$.

Los altos niveles de nitratos en la parte de la rivera del Río Nazas resultan fácil de explicar con base en la escasa distancia de la superficie al manto freático y de la textura ligera de dichos suelos. En la región de Laguna Seca, la distancia al manto freático es de cerca de 100 m por lo que resulta difícil explicar los altos niveles con base en lixiviación de $N-NO_3$ de la agricultura. Se requieren estudios geológicos de más detalle y un muestreo profundo en el perfil para

Cuadro 3. Concentración de $N-NO_3$ en el agua de los pozos de tres áreas en la Comarca Lagunera, muestreo directo en 187 norias (Castellanos, 1989).

Zona	No. de pozos muestreados	Concentración de $N-NO_3$ ¹⁾	
		Promedio	Rango
		ppm	
Norte	85	8.0	0.1 - 67.6
Laguna Seca	58	37.0	3.6 - 207.2
Río Nazas	44	27.9	1.7 - 184.7
Total	187	23.4	0.1 - 207.2

¹⁾Niveles máximos permitidos: uso humano 10 ppm
uso agropecuario 100 ppm

dilucidar la fuente de contaminación. Algunos estudios (Strathouse *et al.*, 1980) han mostrado que la fuente geológica de contaminación resulta también factible para explicar los altos niveles de $N-NO_3$ en algunas aguas del subsuelo.

En México pocos estudios se han realizado para conocer el impacto del nitrógeno sobre la calidad del agua. Es conveniente recordar que el proceso toma decenas de años, pero una vez iniciado no es posible detenerlo a corto plazo, especialmente en mantos acuíferos relativamente antiguos como es el caso de la Comarca Lagunera. Es necesario, primeramente tomar medidas para evaluar la magnitud del problema en regiones agrícolas que llevan años utilizando los fertilizantes y estiércoles, analizar los nitratos en el agua subterránea

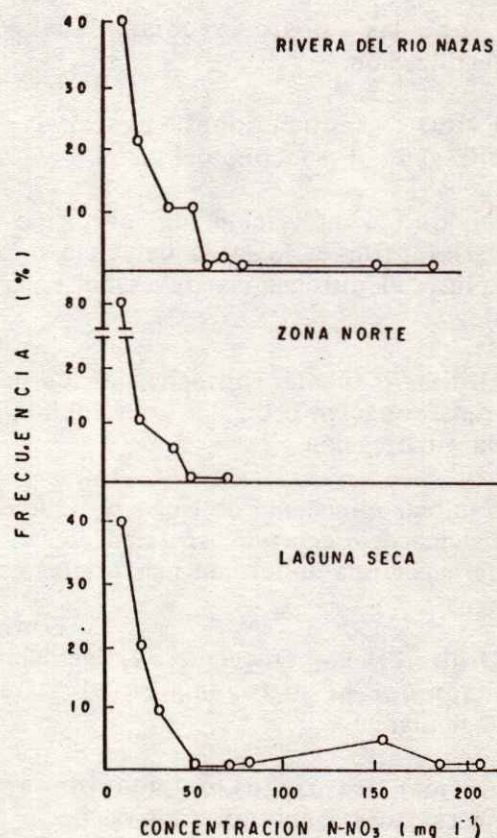


Figura 9. Histograma de frecuencias acumuladas del contenido de $N-NO_3$ para los pozos de tres regiones en la Comarca Lagunera (Castellanos, 1989).

de tales regiones, así como también evaluar el nitrógeno que actualmente se mueve en el perfil hacia el subsuelo.

Seguramente las repercusiones de la contaminación no afectarán a esta generación, pero probablemente las próximas generaciones sufrirán las consecuencias de nuestra egoísta e irracional explotación de la actividad agrícola.

MEDIDAS DE MANEJO PARA PREVENIR PERDIDAS EXCESIVAS DE NITROGENO POR LIXIVIACION.

Con el propósito de abatir los riesgos de contaminación por $N-NO_3$ se han recomendado varias medidas de manejo entre las cuales se mencionan:

1. Usar las dosis recomendadas de fertilización.
2. Evitar aplicaciones excesivas de nitrógeno al principio del ciclo.
3. Dividir la aplicación de nitrógeno en varias partes a lo largo del ciclo o bien aplicar el nitrógeno a través del agua de riego.
4. Utilizar fuentes nitrogenadas de lenta transformación o bien usar inhibidores de nitrificación.
5. Cambiar el sistema de riego por surcos a sistema de riego por aspersión con el fin de hacer una aplicación más eficiente del agua.
6. Utilizar riegos frecuentes y ligeros para mantener el nitrógeno en el sistema radicular.
7. Aplicar los riegos de acuerdo a las necesidades evapotranspirativas.
8. Manejar el cultivo eficientemente para maximizar rendimientos y absorción de nitrógeno.
9. Minimizar el exceso de agua que generalmente se aplica, utilizando la mínima fracción de lavado requerido para controlar la salinidad.
10. Plantar periódicamente cultivos de sistema radicular profundo tales como alfalfa para extraer el exceso de nitratos del perfil de suelo.
11. Utilizar con más frecuencia el sistema de surco alterno en lugar del sistema de riego en melgas para lograr una mejor aplicación del agua y evitar la percolación profunda y, por ende, el arrastre de nitratos.
12. Afinar las recomendaciones de nitrógeno de acuerdo a las necesidades del cultivo a lo largo del ciclo.
13. Calcular y regular más cuidadosamente las cantidades de agua aplicada.
14. Tratar de cultivar especies vegetales que sean relativamente eficientes en la utilización de nitrógeno, cuando sea posible.

LITERATURA CITADA

ADRIANO, D.C., P.F. PRATT, y S.E. BISHOP. 1971. Nitrate and salt in soils and ground waters from land disposal of dairy manures. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* 35: 759-62.

ADRIANO, D.C., P.F. PRATT y F.H. TAKABRI. 1972. Nitrate in unsaturated zone of an alluvial soil in relation to fertilizer nitrogen rate and irrigation level. *J. Env. Qual.* 1: 418-422.

AYERS, R.S. 1978. A Case Study - Nitrate in the upper Santa Ana River Basin in relation to groundwater pollution. *In: National Conference on "Management Nitrogen in Irrigated Agriculture" May 15-18, 1978 at Sacramento Ca.* P.F. Pratt (ed.) University of California Riverside, Ca. 92521 pp. 355-367.

- BOULDIN, D.R., S.D. KLAUSNER y W.S. REID.** 1984. Use of nitrogen from manure p. 221-248. *In*: R.D. Hauck (ed.) Nitrogen in crop production. ASA-CSSA-SSSA. Madison, Wis.
- BROADBENT F.E. y A.B. CARLTON.** 1978. Field trials with isotopes plant and soil data for Davis and Kearney sites. *In*: Nitrate in effluents from irrigated lands. Final Report to the National Science Foundation. Ed. P.F. Pratt. University of California, Riverside, Ca. 92521. pp. 433-465.
- CASTELLANOS, J.Z.** 1989. La contaminación del agua por nitrato en el acuífero de la Comarca Lagunera. Problemas de contaminación en México 3(6): 5-10.
- CASTELLANOS, J.Z. y P.F. PRATT.** 1981. Nitrogen availability in animal manures and crop yields. *Agrochimica* 25: 443-451.
- FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION/FIAC.** 1982. Working party on fertilizer statistics report. FAO/FIAC meetings, 1-4 Mar. 1982, Rome, Italy.
- LETEY, J.J.W. BIGAR, L.H. STOLZY y R.S. AYERS.** 1978. Effects of water management of N-NO₃ leaching. *In*: National Conference on Management of Nitrogen in Irrigated Agriculture. Sacramento, Ca. May 15-18 1978. Ed. P.F. Pratt. University of California, Riverside, Ca. 92521. pp. 231-249.
- LUND, L.J., D.C. ADRIANO, y P.F. PRATT.** 1974. Nitrate concentrations in deep soil cores as related to soil profile characteristics. *J. Env. Qual.* 3: 78-82.
- LUND, L.J., J.C. RYDEN, R.J. MILLER, A.E. LEAG y W.E. BENDIXEN.** 1978. Nitrogen balances for the Santa Maria Valley. *In*: National Conference on "Management Nitrogen in Irrigated Agriculture". May 15-18, at Sacramento, Ca. P.F. Pratt (ed.). University of California Riverside,, Ca. 92521. pp. 395-413.
- McNEAL, B.L. y B.L. CARLILE.** 1976. Nitrogen and irrigation management to reduce return flow pollution in the Columbia Basin. Final Report to the Environmental Protection Agency. Env. Prot. Tech. Series EPA-600/2-76-158. 141 pp.
- McNEAL, B.L. y P.F. PRATT.** 1978. Leaching of nitrates from soils. *In*: National Conference on "Management of Nitrogen in Irrigated Agriculture". Sacramento, Ca. May 15-18. Ed. P.F. Pratt. pp. 195-230. University of California, Riverside, Ca. 92521.
- OLSON, R.A.** 1978. The indispensable role of nitrogen in agricultural production. *In*: National Conference on "Management of Nitrogen in Irrigated Agriculture" Sacramento, Ca. May 15-18 Ed. P.F. Pratt. University of California, Riverside, Ca. 92521 pp. 1-31.
- OLSON, R.A., E.C. SEIM y J. MOIR.** 1973. Influence of agricultural practices on water availability in Nebraska: A survey of streams, groundwater and precipitation. *Water Resource Bull.* 9: 301-311.
- PRATT, P.F.** 1978. Estimated leaching and denitrification losses of nitrogen in a four year trial with animal manures. 321-354. *In*: Nitrate in effluents from irrigated lands. Ed. P.F. Pratt. Final report to the National Science Foundation. University of California, Riverside.
- PRATT, P.F. y D.C. ADRIANO.** 1973. Nitrate concentration in the unsaturated zone beneath irrigated fields in Southern California. *Soil. Sci. Soc. Amer. Proc.* 37: 321-322.
- PRATT, P.F., S. DAVIS y R.G. SHARPLESS.** 1976. A four year field trial with animal manures. I. Nitrogen Balances and Yield. II Mineralization of Nitrogen. *Hilgardia* 44: 99-125.
- PRATT, P.F., W.W. JONES y V.E. HUNSAKER.** 1972. Nitrate in deep soil profile in relation to fertilizer rates and leaching volume. *J. Env. Qual.* 1: 97-102.

SALAS, H.J. 1988. Manual de evaluación y manejo de sustancias tóxicas en aguas superficiales. (CEPIS/HPE/OPS) Organización Mundial de la Salud, México.

STRATHOUSE, S.M., G. SPOSITO, P.J. SULLIVAN y L.J. LUND. 1980. Geologic nitrogen: A potential geochemical hazard in the San Joaquin Valley, California. *J. Env. Qual.* 9: 54-60.

VIETS, F.G. y R.H. HAGEMAN. 1971. Factors affecting the accumulation of nitrate in soils, waters and plants. US Dept. of Agric., Handbook No. 413. Washington, D.C. 63 pp.

WATER QUALITY CRITERIA COMMITTEE 1972. Report of the Committee on Water Quality Criteria. 594 pp. National Academy of Sciences. National Academy of Engineering, Washington, D.C. (EPA R 3.73-033. March 1973).

YOUNG, C.B. OAKES y W.B. WILKINSON. 1977. Prediction of future nitrate concentration in ground water. *In: Proceedings of the Third National Ground Water Quality Symposium.* pp. 70-82 US Environmental Protection Agency Report No. EPA 600/9-77-014.

DIVISION III

NOTA DE
INVESTIGACION

Limitantes de la producción de maíz de temporal en La
Fraylesca, Chiapas: II. Factores químicos del suelo que
afectan el desarrollo y producción del cultivo.

OCTAVIO PEREZ-ZAMORA

84

ENSAYOS

Determinación de nitratos en extractos de suelo.
JUAN PULIDO SECUNDINO,
JORGE D. ETCHEVERS BARRA y
GLORIA GOIJBERG REIN

97

La desertificación, sus causas y consecuencias: medidas
preventivas y correctivas para su control.

MANUEL ANAYA GARDUÑO

102

Los nitratos provenientes de la agricultura: Una
fuente de contaminación de los acuíferos.

JAVIER Z. CASTELLANOS y
JUAN JOSE PEÑA-CABRIALES

113