

# TERRA

Volumen 6

Enero - Junio 1988

Número 1

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

DIVISION I

I N D I C E

**C**omparación de cuatro procedimientos para la cuantificación de la fracción arena en suelos volcánicos de la Sierra Tarasca.

L. CRUZ H., J. D. ETCHEVERS B.  
y K. OLESCHKO

3

Problemas asociados con el método de Bouyoucos para la determinación de textura.

K. OLESCHKO y  
J. D. ETCHEVERS B.

10

DIVISION II

**L**a acción del nitrato sobre algunas enzimas en los nódulos de soya inoculada con Rhizobium japonicum NR<sup>+</sup> O NR<sup>-</sup>.

G. ALCANTAR G. y  
M. L. CHAMPIGNY

19

Efecto de las aplicaciones de N y P en la partición de materia seca y transporte del P al grano en plantas de maíz.

O. PEREZ-ZAMORA

26

Influencia de las arcillas en el número, actividad y crecimiento de las bacterias en suelo.

B. G. REYES-REYES y  
J. J. PEÑA-CABRIALES

35

Inoculación de lenteja (Lens esculenta) con diferentes cepas de Rhizobium leguminosarum.

R. MENDOZA-GAMBOA y  
J. J. PEÑA-CABRIALES

46

DIVISION III

## INDICE

SOCIEDAD MEXICANA DE LA CIENCIA DEL  
SUELO A.C.

EDITORIAL

1

### COMISION EDITORA

DR. JORGE D. ETCHEVERS B., Editor  
DR. ANDRES AGUILAR SANTELISES  
SRA. CARELINA C. AALMERS DE AGUILAR  
Q.A. ADRIANA DELGADO ALVARADO

### MESA DIRECTIVA 1986-1988

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

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

Volumen 6-1, enero-junio 1988.

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,  
a: 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, Es-  
tado de México.

Teléfono: (595) 4-22-00, ext. 5237.

### ARTICULOS CIENTIFICOS

#### *División I: Diagnóstico. Metodología y Evaluación del Recurso Suelo*

- Comparación de cuatro procedimientos para la  
cuantificación de la fracción arena en suelos  
volcánicos de la Sierra Tarasca. LOURDES CRUZ  
H., JORGE D. ETCHEVERS B. y KLAUDIA  
OLESCHKO. . . . . 3
- Problemas asociados con el método de  
Bouyoucos para la determinación de textura.  
KLAUDIA OLESCHKO y JORGE D.  
ETCHEVERS B. . . . . 10

#### *División II: Relación Suelo-Clima-Biota*

- La acción del nitrato sobre algunas enzimas en los  
nódulos de soya inoculada con Rhizobium japonicum  
NR<sup>+</sup> O NR<sup>-</sup>. GABRIEL ALCANTAR G. y MARIE  
LOUISE CHAMPIGNY. . . . . 19
- Efecto de las aplicaciones de N y P en la partición  
de materia seca y transporte del P al grano en plantas  
de maíz. OCTAVIO PEREZ-ZAMORA. . . . . 26
- Influencia de las arcillas en el número, actividad  
y crecimiento de las bacterias en suelo. B.G. REYES-  
REYES y J.J. PEÑA-CABRIALES. . . . . 35
- Inoculación de lenteja (Lens esculenta) con  
diferentes cepas de Rhizobium leguminosarum.  
R. MENDOZA-GAMBOA y J.J. PEÑA-CABRIA-  
LES. . . . . 46

#### *División III: Aprovechamiento del Recurso Suelo*

- Influencia de dos sistemas de labranza en la  
rotación trigo-soya en el norte de Sinaloa. J. LUIS  
MENDOZA R. y RAYMUNDO ACOSTA S. . . . . 52
- Sistema de drenaje superficial y sus  
posibilidades de implementación en suelos arcillosos  
de Quintana Roo. OCTAVIO PEREZ-ZAMORA. . . . . 59
- Sistema integrado de diagnóstico y  
recomendación (DRIS), una alternativa en la diagnosis  
nutrimental del trigo. J.G. DIAZ DE LEON T., R.  
UGALDE V y C. MEJIA A. . . . . 69

COMISION EDITORA

DR. JORGE D. ETCHEVERS B., Editor  
 DR. ANDRES AGUILAR SANTELISES  
 SRA. CARELINA C. AALMERS DE AGUILAR  
 Q.A. ADRIANA DELGADO ALVARADO

MESA DIRECTIVA 1986-1988

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

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

Volumen 6-1, enero-junio 1988.

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, a: 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.

SCIENTIFIC ARTICLES

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

- Comparison of four procedures for quantifying the sand fraction in volcanic soils from Sierra Tarasca, Mexico. LOURDES CRUZ H., JORGE D. ETCHEVERS B., and KLAUDIA OLESCHKO. . . . . 3
- Problems related to texture analysis by the Bouyoucos' method. KLAUDIA OLESCHKO and JORGE D. ETCHEVERS B. . . . . 10

*Division II: Soil-Climata-Biota Relationship*

- The action of nitrate on some nodule enzymes of soybean inoculated with *Rhizobium japonicum* NR<sup>+</sup> or NR<sup>-</sup>. GABRIEL ALCANTAR G. and MARIE LOUISE CHAMPIGNY. . . . . 19
- Effects of N and P applications on dry matter partition and P transfer to maize grain. OCTAVIO PEREZ-ZAMORA. . . . . 26
- Influence of clays on number, activity, and growth of bacteria in soil. B.G. REYES-REYES and J.J. PEÑA-CABRIALES. . . . . 35
- Inoculation of lentils (*Lens esculenta*) with different *Rhizobium leguminosarum* strains. R. MENDOZA-GAMBOA and J.J. PEÑA-CABRIALES. 46

*Division III: Use of the Soil Resource*

- Influence of two tillages in wheat-soybean rotation in northern Sinaloa. J. LUIS MENDOZA R. and RAYMUNDO ACOSTA S. . . . . 52
- A superficial drainage system and its feasibility on clay soils from Quintana Roo, Mexico. OCTAVIO PEREZ-ZAMORA. . . . . 59
- The system DRIS as alternative in nutritional diagnosis of wheat. J. G. DIAZ DE LEON T., R. UGALDE V. and C. MEJIA A. . . . . 69

## EDITORIAL

Estamos en octubre de 1989 y en forma acelerada preparamos este número que cronológicamente corresponde al primer semestre de 1988.

En editoriales pasados llamábamos la atención acerca de los cambios realizados en la revista TERRA, cambios que esperamos hayan contribuido a mejorar su presentación y alcance. Hubo un aspecto, sin embargo, que omitimos destacar: el uso de palabras claves, la subtitulación en inglés y la publicación de un índice en el mismo idioma. Agradecemos a la Sra. Fay Henderson de Díaz su desinteresada colaboración en la revisión de éstos, así como en la edición de los *Summaries*. En el futuro, y una vez consolidada la primera etapa de TERRA, aspiramos a subtitular todas las figuras y cuadros en inglés, y a ampliar el *Summary*, con el propósito de poder alcanzar a un mayor número de lectores potenciales. En nuestros planes inmediatos está la publicación de ensayos y conferencias en inglés, para posteriormente transformar a TERRA en una revista bilingüe, que pueda servir de vehículo de expresión y conocimiento a los colegas caribeños y centro-americanos que hablan esta lengua.

Queremos aprovechar la oportunidad de solicitar a nuestros caros lectores que promuevan TERRA entre sus compañeros y alumnos. Un mayor número de subscriptores contribuiría a paliar los enormes costos de producción que nos agobian y que a veces amenazan con hacernos desaparecer. Este es el único órgano especializado en Ciencia del Suelo del país y el cese de su publicación nos afectaría a todos. Este editor ha enviado una carta a las autoridades del Sistema Nacional de Investigadores, solicitándoles que se tome debida consideración de las publicaciones hechas en este órgano en el momento de las evaluaciones personales, debido a que la tecnología para los suelos que aquí se genera y publica, tiene un interés, para México, mucho mayor que para otros países y sería un error publicar esta información en revistas extranjeras y más aún en otras lenguas a las cuales generalmente no se tiene acceso. Hagamos votos por que nuestras consideraciones sean escuchadas.

El Editor.

## COMPARACION DE CUATRO PROCEDIMIENTOS PARA LA CUANTIFICACION DE LA FRACCION ARENA EN SUELOS VOLCANICOS DE LA SIERRA TARASCA

Comparison of Four Procedures for Quantifying the Sand Fraction in Volcanic Soils from Sierra Tarasca, Mexico.

Lourdes Cruz H., Jorge D. Etchevers B. y Klaudia Oleschko

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

### RESUMEN

La intensa actividad volcánica que ha sufrido la República Mexicana originó la existencia de suelos volcánicos, principalmente en los estados de Michoacán, Puebla, México y Veracruz. Dichos suelos ocupan un área aproximada de 83,730 km<sup>2</sup>.

En suelos volcánicos es necesario aislar la fracción arena para realizar mediciones microscópicas de la proporción de vidrio volcánico, la cual se emplea como criterio para precisar las características ándicas. Sin embargo, la floculación de las partículas suspendidas en un medio acuoso, problema común en estos suelos, entorpece la separación de dicha fracción. El objetivo del presente trabajo fue ensayar varios procedimientos para separar la fracción arena y realizar observaciones microscópicas de ésta y del limo en suelos de la Sierra Tarasca (México). Se emplearon cuatro procedimientos para medir la fracción arena: (a) tamizado en seco; (b) tamizado en seco con un tratamiento posterior para remover la materia orgánica y algunos óxidos e hidróxidos de hierro; (c) método de

la pipeta con destrucción previa de la materia orgánica; y (d) método densimétrico de Bouyoucos. Los tamizados en seco con y sin tratamiento de las fracciones aisladas rindieron los porcentajes más altos y más bajos de arena (promedio 63 y 28%). El estudio microscópico de las fracciones aisladas mostró claras diferencias en la composición cuantitativa y cualitativa de los materiales observados. La fracción limo estaba constituida por partículas de limo verdadero y por seudolimos (agrupaciones de partículas más pequeñas con tamaño de limos). Las seudopartículas fueron más comunes en las fracciones aisladas en medio acuoso, por lo que se postula que éste de alguna manera afecta las características termodinámicas de los coloides de los suelos volcánicos favoreciendo su floculación. El tamizado en seco con posterior remoción de la materia orgánica, óxidos e hidróxidos de hierro fue el único procedimiento que permitió la eliminación de las seudopartículas. La fracción arena de los suelos estudiados presentó abundancia de materiales cristalinos, predominante feldespatos, pero escasa proporción de vidrios volcánicos.

Palabras clave: Suelos volcánicos, Arena, Vidrio volcánico, Métodos de separación.

## SUMMARY

Isolation of the sand fraction in volcanic soils is sometimes needed to measure microscopic volcanic glass abundance, which is used to define andic properties. Flocculation of elemental particles in aqueous suspension is a common problem in volcanic soils which makes the separation of the mechanical fraction difficult. The objective of the present work was to assay various procedures to achieve isolation of the sand fraction and to perform microscopic observations of volcanic glass in Tarascan Sierra (Mexico) volcanic soils. Four procedures were tested: (a) dry sieving; (b) dry sieving with an after-treatment to remove organic matter, iron oxides and hydroxides from particles; (c) the pipette method after removing the organic matter; and (d) Bouyoucos densimetry. Dry sieving with and without after-treatment yielded the highest and lowest percentage of sand recovery. Microscopic observation of isolated fractions showed clear quantitative and qualitative differences in the particles. True silt particles and pseudo-particles (groups of smaller particles the size of the silt fraction) were observed. Pseudo-particles were more common in silt fractions isolated from an aqueous medium than in dry sieving isolates. Dry sieving with after-treatment of fractions was the only method which reduced significantly the pseudo-particles. Feldspar was the dominant crystalline material in the sand fraction. In contrast, volcanic glasses were scarce.

Index words: Volcanic soils, Sand fraction, Volcanic glass, Separation methods.

## INTRODUCCION

México ha sido escenario de una gran actividad volcánica en el pasado, responsable de la formación de los suelos de origen volcánico, que ocupan una extensión aproximada de 83,730 km<sup>2</sup>.

El Eje Neovolcánico es una de las principales estructuras geológicas del país, atraviesa los estados de Colima, Jalisco, Puebla, México, Veracruz y Michoacán (Aguilera, 1961). En este último estado se ubica la Sierra Tarasca, motivo de nuestra atención. Independientemente de su importancia para la clasificación textural, en suelos de origen volcánico la fracción arenosa tiene particular relevancia taxonómica, porque en ella es posible cuantificar e identificar minerales, entre los cuales se encuentran los vidrios volcánicos. La proporción de éstos en la fracción gruesa constituye uno de los criterios para clasificar a este tipo de suelos (Leamy, 1986).

Los requisitos 2 y 3 señalados en la Circular 8 del Comité Internacional para la Clasificación de los Andisoles-ICOMAND (Leamy, 1986), que deben cumplir los suelos para ser considerados Andisoles, indican que el porcentaje de arena en muestras con humedad de campo debe ser al menos de 30% de la tierra fina (<2mm) y que ésta debe contener 30% de vidrio volcánico o cristales cubiertos con vidrio en la fracción arenosa, o bien, que al entrar en una gráfica "ad hoc" el porcentaje de vidrio versus el porcentaje de aluminio más 1/2 de hierro extractable en oxalato ácido, la intersección de las líneas imaginarias debe caer dentro del área sombreada (Leamy, 1986).

Lo anterior implica la necesidad de contar con un método apropiado para estimar el porcentaje de arena en suelos de origen volcánico. Estos suelos tienen características químicas que dificultan la determinación de arena, como son los contenidos de alofán, hierro y materia orgánica. Los mencionados materiales, que son considerados agentes cementantes, se cree que favorecen la formación de pseudoarenas; éstas son agrupaciones del tamaño de las arenas constituidas de partículas más finas, generalmente limos y arcillas (Yokoi, 1974). Observaciones microscópicas realizadas por Riezebos y Lustenhouwer (1983) en material de tamaño arena de andosoles colombianos revelaron la existencia de partículas compuestas.

Aparentemente su estabilidad fue lo suficientemente grande como para resistir la desintegración con los pretratamientos comunes en el laboratorio. Etchevers *et al.* (1986b) han hecho observaciones similares en suelos mexicanos.

Según Pede y Langohr (1981) la formación de agregados está estrechamente relacionada con factores tales como la materia orgánica, los minerales arcillosos, el contenido de sales y la capacidad de intercambio de cationes. Sin embargo, Harris *et al.* (1966) y Martin *et al.* (1955) disienten de esta opinión y argumentan que no hay una tendencia clara que a mayor contenido de materia orgánica haya mayor cantidad de agregados de tamaño arena. En muestras de Andosoles estudiados por Pede y Langohr (1981) se observó que las pseudopartículas amorfas no se destruyen con el tratamiento con ditionito. Estos autores sugieren que en los Andepts ricos en alofán se producen condiciones que favorecen la floculación, las cuales serían responsables de la dispersión incompleta del suelo. Además, concluyeron que en todas las muestras estudiadas por ellos no hubo cambio en el grado de dispersión cuando se les sometió a un tratamiento con peróxido de hidrógeno.

Según estudios realizados por Coventry y Fett (1979), el uso de polifosfato o hexametáfosfato de sodio fue igualmente efectivo para lograr la dispersión de los suelos, sin embargo, hay evidencias de que el citrato de sodio es más efectivo que el hexametáfosfato (Reeve y Skjemstad, 1972). Además de los agentes químicos mencionados, en la dispersión de los suelos se emplean técnicas mecánicas que tienen por objetivo separar las partículas individuales unas de otras y permitir así su suspensión en el líquido. Se ha encontrado que la agitación recíproca por 16 h da excelentes resultados; un aumento del tiempo de agitación a 24 h no produce incrementos significativos en las fracciones (Coventry y Fett, 1979). En contraste, los autores del presente trabajo han observado que los agitadores rotatorios de alta velocidad (tipo blender) producen fracturación de las partículas al aumentar el tiempo de tratamiento.

El objetivo del presente trabajo fue buscar procedimientos adecuados para aislar y cuantificar la fracción arena en suelos volcánicos y hacer observaciones microscópicas en la misma para determinar la presencia de vidrios volcánicos.

## MATERIALES Y METODOS

Los suelos estudiados en el presente trabajo provinieron de la Meseta Tarasca, ubicada en la parte central del estado de Michoacán (México). Estos suelos han sido clasificados en la Taxonomía de Suelos como pertenecientes al Orden Inceptisol, Suborden Andéptico, Grandes Grupos Durandéptico, Ochrandéptico, Umbrandéptico y Regoandéptico (Cervantes, 1965) y como Andosoles húmicos, mólicos y ócricos en el sistema FAO/UNESCO (Anónimo 1971; CETENAL, 1970).

Las muestras empleadas se obtuvieron a una profundidad de 0 a 20 cm en las localidades denominadas Paso del Muerto, Sevina, San Gregorio, Zacán, Pomacuarán y Lázaro Cárdenas en la Meseta Tarasca.

Se probaron cuatro métodos de determinación de la fracción arena; estos fueron: (a) tamizado en seco; (b) tamizado en seco con tratamiento posterior de las fracciones aisladas; (c) método de la pipeta; y (d) densimetría con hidrómetro de Bouyoucos.

El tamizado en seco consistió en cernir manualmente 100 g de suelo seco al aire con una malla de 0.05 mm y medir gravimétricamente la fracción que quedó sobre el tamiz.

El tamizado en seco con tratamiento posterior de las fracciones consistió en cribar manualmente 5 g de suelo seco al aire para aislar las porciones de tamaño entre 0.05 v 0.25 mm. La fracción que quedó sobre el tamiz se colocó en un tubo de polipropileno y se le oxidó la materia orgánica con peróxido de hidrógeno al 30% de 70 a 80°C, hasta que no hubo reacción.

Posteriormente, las muestras se trataron con 10 ml de  $\text{NH}_4\text{OH}$  concentrado, 10 ml  $\text{H}_2\text{O}$  destilada y se sometieron a agitación vortex por 30 segundos a temperatura ambiente y se centrifugaron por 5 minutos para separar el sobrenadante, el cual se eliminó. Este procedimiento se repitió hasta que el sobrenadante se clarificó. Para eliminar el hierro, se agregó a la muestra 5 ml de  $\text{HCl}$  6M, se diluyó con agua destilada, se calentó sin alcanzar ebullición y se centrifugó por 5 minutos para realizar la separación de fases. El sobrenadante se eliminó y el suelo se lavó dos veces con agua destilada. Se repitió este procedimiento hasta que se eliminó todo el hierro (hasta que el sobrenadante estuvo claro). El suelo se secó lavándolo dos veces con acetona y se pesó (Wallace *et al.*, 1985).

El método de la pipeta consistió en pesar 20 g de la tierra fina (< 2mm), eliminar la materia orgánica con porciones de 10 ml de peróxido de hidrógeno al 30%, calentando hasta lograr que la descomposición de la misma fuera aparentemente completa, luego se adicionó agua hasta un volumen de 300 ml, se hirvió para eliminar cualquier residuo del oxidante; se enfrió, centrifugó y decantó. El sedimento se dispersó con 300 ml de agua destilada, este paso se repitió hasta lograr la peptización. Para promover la peptización se agregaron unas gotas de  $\text{NaCl}$  saturado. La dispersión se llevó a cabo transfiriendo la muestra preparada a una botella de plástico de 1 litro, donde se le adicionó 25 ml del agente dispersante (pirofosfato de sodio) el cual se llevó a un volumen de 400 ml con agua destilada y se agitó durante toda la noche (16 horas) en un agitador recíproco calibrado a 180 opm. La suspensión se colocó en una probeta haciéndola pasar a través de un tamiz de 0.05 mm quedando sobre el tamiz la arena, que se secó en estufa a  $45^\circ\text{C}$  y posteriormente se pesó (Van Reeuwijk, 1986). La fracción limo se separó con una pipeta especialmente diseñada (Kachinsky, 1965) para este efecto sumergiéndola en el cilindro a la profundidad y tiempo señalados por Van Reeuwijk (1986).

En la densimetría con hidrómetro de Bouyoucos, se usó la metodología propuesta

por el mismo Bouyoucos (1962) usando como dispersante 35 ml de hexametáfosfato de sodio neutralizado con carbonato de sodio. Este procedimiento permitió estimar la fracción arena, pero no separarla físicamente del resto de las fracciones.

Con las fracciones arena y limo obtenidas por el método de la pipeta y con la fracción arena del tamizado en seco, con tratamiento posterior de la fracción, se prepararon láminas delgadas para observación microscópica. La preparación se hizo por métodos convencionales (Kubiena, 1938).

## RESULTADOS Y DISCUSION

En el Cuadro 1 se presentan los valores de algunas características químicas de los suelos en estudio. Los sitios de estudio exhibieron valores variados de aluminio, hierro, silicio y de materia orgánica. Los suelos de Paso del Muerto y San Gregorio fueron los que tuvieron valores más altos de estas características, Sevina los tuvo altos, Lázaro

Cuadro 1. Algunas características químicas de suelo de origen volcánico en los sitios seleccionados (profundidad 0 a 20 cm) de la meseta tarasca (Cruz, 1986); Etchevers *et al.*, 1986).

Sitio	Solubilidad					
	en oxalato ácido			P-fij <sup>1)</sup>	MO <sup>2)</sup>	Da <sup>3)</sup>
Al	Fe	Si	%			
Zacán	1.3	0.9	1.3	48	1.5	1.01
Pomacuarán	2.1	1.6	1.1	44	0.9	1.15
L. Cárdenas	3.4	1.3	2.1	95	3.8	0.91
Sevina	5.8	1.5	2.5	97	10.1	0.85
S. Gregorio	6.6	1.4	2.8	98	15.4	0.80
P. Muerto	8.4	2.0	3.5	98	13.7	0.82

1) P-fij = Fijación de fósforo

2) Mo = Materia orgánica

3) Da = Densidad aparente

Cárdenas medios, Pomacuarán y Zacán los presentaron generalmente bajos. En cuanto a los porcentajes de fijación de fósforo, los sitios que exhibieron los valores más altos (mayores al 95%), fueron nuevamente Paso del Muerto, San Gregorio, Sevina y Lázaro Cárdenas; estos mismos presentaron los valores más bajos (menores de 0.91 g/cm<sup>3</sup>) de densidad aparente. Por todo ello se manifiesta que tienen propiedades consideradas como ándicas (Leamy, 1986), las cuales se cree influyen en la estimación de arena.

Contrariamente a lo que se ha presentado, los suelos provenientes de Zacán y Pomacuarán, exhibieron valores bajos (48 y 44%, respectivamente) en su capacidad para fijar fósforo y los valores más altos (1.01 y 1.15 g/cm<sup>3</sup>, respectivamente) de densidad aparente.

En el Cuadro 2 se presentan los porcentajes de arena estimados y sus valores medios para los cuatro métodos experimentales descritos. Las fracciones de arena obtenidas mostraron claras diferencias tanto cuantitativas como cualitativas. Los mayores porcentajes de arena ( $\bar{x}$ =63%) se obtuvieron mediante el método de tamizado en seco, lo cual se debe a que incluyeron tanto las partículas de arena verdaderas como compuestas. Los valores menores ( $\bar{x}$ =28%) correspondieron al método de tamizado en seco con tratamiento posterior, lo que se explica si se considera que se llevó a cabo una destrucción sistemática y exhaustiva de las sustancias que actúan como agentes cementantes, y que actúan manteniendo unidas a las partículas verdaderas de varios tamaños.

Las medias de los porcentajes de la fracción arena determinada con los métodos de Bouyoucos y de la pipeta fueron muy similares, particularmente en Zacán, Pomacuarán y Sevina, debido probablemente a que en ambos procedimientos la separación se llevó a cabo en medio acuoso y se produjo cohesión entre las partículas. Sin embargo, en los suelos de San Gregorio y Paso del Muerto, con el método de Bouyoucos se obtuvieron porcentajes de arena más altos que con el método de la pipeta, pero

Cuadro 2. Porcentaje de arena, determinado por cuatro procedimientos en suelos volcánicos de Michoacán.

Sitio	Procedimiento			
	Tamizado seco	Tamizado seco con trat. post.	Pipeta	Bouyoucos
	-----	arena %	-----	-----
Zacán	81	60	73	68
Pomacuarán	86	51	70	68
L. Cárdenas	62	11	41	29
Sevina	51	18	30	33
S. Gregorio	46	19	22	45
P. Muerto	51	10	25	43
Media	63	28	44	48

lo contrario sucedió en Lázaro Cárdenas. Los menores porcentajes de esta fracción, medidos con el método de la pipeta, son justificables, ya que para su aplicación se requirió de la destrucción de la materia orgánica, que era superior al 10% y de un tratamiento de dispersión más enérgico.

El método de tamizado en seco con tratamiento de eliminación de la materia orgánica y hierro, fue el que mejor cuantificó la fracción verdadera de arena (confirmado por las observaciones microscópicas) y disminuyó la cantidad de agregados (pseudoarenas), que deben ser considerados como artefactos en el análisis textural. Debido a la eficacia de sus tratamientos es la técnica más plausible en la determinación de la fracción arena en este tipo de suelos, ya que solamente una vez que ha sido aislada esta fracción, será posible la identificación de vidrios volcánicos en ella.

En los suelos de San Gregorio y Paso del Muerto se obtuvieron porcentajes de arena muy similares con los procedimientos de Bouyoucos y el de tamizado en seco (Cuadro 2). En contraste, el número de tamizado en seco con tratamiento posterior dio valores de 19 y 10% de arena, respectivamente, es decir una diferencia porcentual de más del doble. Este comportamiento probablemente se debe a que

los suelos tienen altos porcentajes de óxidos e hidróxidos de aluminio y hierro mal cristalizados los cuales pudieran ser responsables de la dispersión incompleta de los mismos, como lo señala Yokoi (1974).

En general, se observó un alto contenido de material cristalino. Los minerales predominantes fueron los feldespatos. En contraste, el contenido de vidrio volcánico en los suelos de la Sierra Tarasca no se logró su cuantificación exactamente pero se observó que era muy bajo. En las preparaciones se pudo ver, además de partículas verdaderas de arenas y limo, pequeños agregados que denominamos pseudoarenas y pseudolimos. Estas se presentaron, sin embargo, sólo en medio acuoso. Las seudopartículas se formaron tanto en suelos con propiedades francamente ándicas (San Gregorio), como en aquellos que no las tenían (Zacán y Pomacuarán), bajo las condiciones señaladas. La fracción arenosa aislada por el método de tamizado en seco con tratamiento posterior, presentó partículas, en la mayoría de los casos, de naturaleza cristalina, recubiertas en gran medida por material orgánico y algo de óxidos de hierro residuales. En los sitios de Paso del Muerto y Lázaro Cárdenas hubo abundancia de cristales los cuales estaban muy limpios, gran contenido de material orgánico en el primer sitio y abundancia de óxidos de hierro en el segundo. Las fracciones arenosas obtenidas mediante el procedimiento de la pipeta tuvieron como característica común una mejor separación de las partículas de acuerdo a su tamaño, que la obtenida con los otros procedimientos. En contraste con lo observado con el método anterior en los sitios de Paso del Muerto, San Gregorio y Lázaro Cárdenas se vio, en las preparaciones microscópicas, escasa fase cristalina pero con abundante material orgánico localizado en el contorno de los cristales sólo en Lázaro Cárdenas y abundante contenido de óxidos de hierro, excepto en San Gregorio.

### CONCLUSIONES

Las observaciones microscópicas señalan que procedimiento de tamizado en seco con

posterior eliminación de la materia orgánica y del hierro fue el que mejor cuantificó la fracción arena y disminuyó la cantidad de agregados.

En suelos que presentan altos porcentajes de materia orgánica el tratamiento con peróxido de hidrógeno favoreció la dispersión (mayor porcentaje de arcilla).

En los suelos con altos contenidos de Al, Fe y Si se presentaron condiciones de floculación, que podrían ser los responsables de la dispersión incompleta de los mismos.

Observaciones microscópicas revelaron la presencia de partículas verdaderas de arena, limo y de pseudoarenas y de pseudolimos, estas últimas lo suficientemente estables para resistir los tratamientos de dispersión. Se observó un alto contenido de material cristalino, escaso vidrio volcánico y predominancia de los materiales del grupo de los feldespatos.

### LITERATURA CITADA

AGUILERA H., N. 1961. Suelos de Ando: génesis, morfología y clasificación. ENA/CP (Serie de investigación 6). Chapingo, México.

ANONIMO. 1971. Dirección de Agrología. Informe de actividades de mayo a septiembre 1970. Revista de Ingeniería Hidráulica (México) 25:71-78.

BOUYOUCOS, G.J. 1962. Hydrometer method improved for making particle size analysis of soil. Agron. J. 54:464-465.

CERVANTES R., G. 1965. Génesis y clasificación de algunos suelos en la Meseta Tarasca, Edo. de Michoacán. Colegio de Postgraduados, Chapingo. México. (Tesis de Maestría).

CETENAL. 1970. Clasificación de suelos CETENAL (Comisión de Estudios del Territorio Nacional). México, D.F. (Folleto No. 4).

COVENTRY, R.J. y D.E.R. FETT. 1979. A pipette and sieve method of particle size analysis and some observations on its efficacy. CSIRO, Aust. Div. Soils. Divisional Report. No. 38.

CRUZ H., L. 1986. Determinación de las formas de nitrógeno en suelos derivados de cenizas volcánicas de la Sierra Tarasca, Michoacán. Universidad Veracruzana, Facultad de Ciencias Químicas, Orizaba, Veracruz (Tesis de Licenciatura).

ETCHEVERS, J.D., L. CRUZ H. y C. HIDALGO M. 1986a. Criterios analíticos para la clasificación del nuevo orden de los Andisoles. *TERRA* 4:3-8.

ETCHEVERS, J.D., K. OLESCHKO, L. CRUZ H. Y C. HIDALGO M. 1986b. Complex nature of mechanical elements in Andisols from Mexico. XIII Congress of the International Society of Soil Science, Volume II:55.

HARRIS, R.F., G. CHESTERS y O.N. ALLEN. 1966. Soil aggregate stabilization by the indigenous microflora as affected by temperature. *Advances in Agronomy* 18:107.

KACHINSKY, N.A. 1965. Física de suelo. Escuela Superior, Moscú, URSS.

KUBIENA, W.L. 1938. *Micropedology*. Iowa University Press. Ames, Iowa.

LEAMY, M.L. 1986. International Committee on the Classification of Andisols (ICOMAND), Circular Letter No. 8. New Zealand Soil Bureau. D.S.I.R., Lower Hutt, New Zealand.

MARTIN, J.P., W. MARTIN, J.B. PAGE, W.A. PANEY y J. DE MENT. 1955. Effect of field applications of synthetic soil aggregate stabilizer on plant emergence. *Advances in Agronomy*. 7:1.

PEDE, K. y R. LANGOHR. 1981. Microscopic study of pseudo-particles in dispersed soil samples. In: P. Bullock y C. Murphy (eds.). *Soil Micromorphology*, Vol. 1., Techniques and applications. Academic Publishers, Rothamsted, Inglaterra.

REEVE, R. y SKJEMSTAD. 1972. Methods of pretreatment and dispersion of soils for particle size analysis. CSIRO. Aust. Div. Soils Tech. Soils Memo. No. 57.

RIEZEPOS, P.A. y W.J. LUSTENHOUWER. 1983. Characteristics and significance of composite particles derived from a Colombian andosol profile. *Geoderma* 36:195-217.

VAN REEUWIJK, L.R. (ed.). 1986. Procedures for soil analysis. International Soil Reference and Information Centre, Wageningen, Holanda.

WALLACE, R.C., R.B. STEWART y V.E. NEALL. 1985. Volcanic glass field laboratory test. Massey University Department of Soil Science Occasional Report. No. 7.

YOKOI, H. 1974. Presumptive effect of aggregates on textural classification. *Soil Sci. Plant. Nutr.* 20:127-134.

## PROBLEMAS ASOCIADOS CON EL METODO DE BOUYOUCOS PARA LA DETERMINACION DE TEXTURA

Problems Related to Texture Analysis by the Bouyoucos' Method

Klaudia Oleschko y Jorge D. Etchevers B.

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

### RESUMEN

El análisis mecánico de los suelos es fundamental en los estudios edafológicos y se practica rutinariamente, pero los diversos procedimientos empleados no siempre producen resultados congruentes. Ello se debe a que la eficiencia de los mecanismos de dispersión y evaluación de las fracciones mecánicas varía con la naturaleza de los suelos. El objetivo del presente trabajo fue comparar el procedimiento rutinario de determinación de textura empleado en México (método de Bouyoucos) con un método sugerido por Kachinsky (URSS) y los resultados generados en un intercambio internacional de muestras en el que se empleó un procedimiento propuesto por International Soil Reference and Information Centre (ISRIC). Se utilizaron muestras representativas de los principales órdenes de suelo tanto de México como de varios países del mundo. El método rutinario de Bouyoucos empleado en México proporcionó en la mayoría de los suelos porcentajes de arcilla superiores al de los otros dos procedimientos, sin embargo, las clases texturales resultantes de la aplicación de cualquiera de los tres métodos no difirieron mayormente. Se especula que la

mayor concentración de arcilla obtenida por el procedimiento de Bouyoucos fue producto del rompimiento de las partículas que provoca la violenta agitación mecánica a la cual es sometido el suelo en este procedimiento. Los métodos de Bouyoucos y el del ISRIC mostraron ser inadecuados para el análisis de suelos afectados por sales, lo cual se evidenció en porcentajes de arcilla muy superiores (hasta siete veces) a los obtenidos con el procedimiento de Kachinsky. Ello se debería a que las sales solubles y los carbonatos son contabilizados por los dos primeros métodos como parte de la fracción arcilla.

Palabras clave: Textura, Bouyoucos.

### SUMMARY

Soil texture analysis is paramount in soil science studies and is conducted on a routine basis in many laboratories. However, procedures commonly used not always yield congruent results. Differences are attributed to variation in the soil dispersion achieved and the method used to measure particle sizes. The objective of the present work was to compare the routine soil texture procedure used in Mexico (Bouyoucos) with the method proposed by Kachinsky and also with the results

generated by a soil sample exchange, where a procedure proposed by ISRIC was applied. Soil samples from Mexico and several other countries, representing major soil orders, were analyzed by Bouyoucos, Kachinsky and ISRIC procedures. In general routine Bouyoucos method yields the highest percentages of clay, however, the texture classes determined with data from the three procedures were similar. Higher clay percentage measured with Bouyoucos' method was probably due to soil particles being broken by strong mechanical dispersion. Bouyoucos and ISRIC procedures showed to be inadequate for conducting soil texture analysis in salt affected soils. The percentage of clay in these soils, when determined by any of these methods, was higher (up to seven times) than the percentage obtained with Kachinsky's method. Presence of soluble salts and carbonates as fine material in the suspension may be responsible for this artifact.

Index words: Mechanic analysis, Bouyoucos procedure.

### INTRODUCCION

El análisis mecánico se reconoce como uno de los fundamentales en edafología, pues expresa la composición relativa de las partículas mecánicas de diferente tamaño, dato que da información directa sobre las propiedades químicas, físico-químicas y físicas específicas de un suelo. En México, la metodología comúnmente usada para el análisis mencionado se caracteriza por ser el producto de diversas aproximaciones, algunas de las cuales tienen errores, por lo que los resultados no siempre son los reales y por lo tanto son imposibles de extrapolar. Existen varias razones que respaldan las aseveraciones anteriores, siendo las más importantes las siguientes: los resultados al análisis de textura están relacionados directamente con el método de dispersión aplicado; los suelos de diferente génesis se dispersan en distinto grado con un mismo dispersante y los métodos de dispersión que se usan en México no siempre son los más apropiados.

El objetivo del presente trabajo fue evaluar algunos métodos de análisis mecánico en suelos de México y otros países, con el propósito de recomendar uno que permita obtener resultados reales y comparables entre sí.

### REVISION DE LITERATURA

Uno de los propósitos, común a todos los análisis mecánicos, es lograr la dispersión máxima de los componentes del suelo, sin relación alguna con su estabilidad. Sin embargo, este objetivo pareciera no tener mayores fundamentos. Según Kachinsky (1965), las partículas mecánicas de un mismo tamaño se distinguen entre sí por su estabilidad. El autor mencionado las subdivide en tres grupos: (1) los elementos mecánicos efímeros (que son todas las sales solubles); (2) los carbonatos del calcio y magnesio; y (3) las partículas estables, que son todos los silicatos, aluminio silicatos, ferrosilicatos y óxidos de hierro, aluminio y manganeso. Este último grupo de elementos mecánicos es el más característico de un suelo de génesis dada (Kachinsky, 1965).

Es evidente, entonces, por qué distintas metodologías, incluyendo la recomendada por el ISRIC (Van Reeuwijk, 1986), proponen eliminar las sales solubles y los carbonatos antes de la realización del análisis y estudiarlos separadamente (Kachinsky, 1965). Los elementos mecánicos de los tres grupos mencionados responden de diferente modo a la acción de los agentes dispersantes.

Después de la separación de las fracciones, los elementos mecánicos que tienen diferente estabilidad se encuentran en una sola fracción. Por lo que las inferencias, que respecto de las propiedades y regímenes de un suelo que de aquí se puedan hacer, son totalmente diferentes a la realidad.

El análisis mecánico incluye tres fases. La primera es la preparación del suelo para el análisis o su dispersión que a su vez, puede ser realizada sin ninguna acción química (por ejemplo, con ultrasonido), con acción

química y lavado de los productos de la reacción y con dispersión química pero sin lavado de los productos. En este último grupo se encuentra el método comúnmente empleado en México, que incluye la dispersión del suelo con oxalato, pirofosfato o hexametáfosfato de sodio (Baver *et al.*, 1980). La segunda fase del análisis es la separación de las fracciones de las partículas mecánicas del suelo según su tamaño, la que puede ser efectuada en distintos medios, incluyendo el aire y el agua. En varias metodologías recientes esta fase del análisis se realiza en el agua, aplicando la ley de Stokes. La tercera fase del análisis es la toma de pruebas o alícuota de la suspensión que, a su vez, se efectúa por medio de distintos procedimientos, entre los cuales los más conocidos son el del hidrómetro (Bouyoucos, 1927) y el de la pipeta (Day, 1965; Kachinsky, 1965; Van Reeuwijk, 1986). En México se usa rutinariamente el método del hidrómetro de Bouyoucos y sólo en ciertas instancias el de la pipeta.

Existen diferentes investigaciones cuyo objetivo fue comparar varias metodologías entre sí, tomando en cuenta las tres fases del análisis (Korenevskaya, 1953; Makarova, 1965; citados por Kachinsky, 1965). Las conclusiones más importantes de estos autores, en relación con los dispersantes tipo oxalato, pirofosfato y hexametáfosfato de sodio, fueron las siguientes: son métodos cuyo uso se considera eficiente para la dispersión de los suelos ricos en carbonatos, sin embargo, es necesario tomar en cuenta que las formas primarias de calcio en el suelo analizado cambian significativamente en el proceso de tratamiento, ya que se forman nuevos compuestos, por ejemplo  $(Ca, Mg)C_2O_4$ ,  $(Ca_2Mg)P_2O_7$ ,  $(Ca_3Mg_3)P_6O_{18}$ ,  $(Na_2Ca_2)(PO_3)_6$ , que constituyen elementos mecánicos ausentes en el suelo antes del tratamiento; el grado de dispersión del suelo con oxalato, pirofosfato y hexametáfosfato es diferente y los resultados obtenidos son incomparables entre sí (Kachinsky, 1965).

En el método de análisis mecánico recomendado por Kachinsky (1965), la dispersión del suelo se realiza por medio de la aplicación de ácido clorhídrico e incluye

el lavado de los productos de la reacción y la saturación posterior del complejo de intercambio catiónico del suelo con el ion de sodio. Según distintos autores, el método mencionado proporciona una mayor dispersión de los suelos de distintas génesis.

Todo lo discutido se complica considerablemente para el caso de los suelos volcánicos de carga variable donde una de las operaciones requeridas para la dispersión adecuada del suelo es la aplicación de ultrasonido (Theng, 1980).

En relación al uso del hidrómetro de Bouyoucos para la tercera fase del análisis también existe una amplia discusión en la literatura científica. Kachinsky considera que los errores más grandes de este método son los siguientes:

1. Después de la agitación de la suspensión, en el proceso de determinación de las fracciones gruesas, el hidrómetro se introduce en un medio en movimiento y no se cumple la suposición de la ley de Stokes sobre la caída recta de los elementos mecánicos.
2. No hay una estricta proporcionalidad entre la profundidad del hundimiento del hidrómetro en el líquido y el cambio de la densidad de la suspensión, ya que se hunde no solamente la parte con forma de bulbo del aparato sino que también su vástago.
3. Sobre los hombros del hidrómetro se sedimenta una parte de la suspensión que incrementa su peso y modifica los resultados obtenidos.
4. El hidrómetro flota y de este modo, se acerca a las paredes del cilindro, donde la velocidad de la sedimentación de la suspensión es diferente.
5. Bajo el bulbo del hidrómetro la suspensión tiene una menor concentración.
6. La exactitud del cálculo de distintas fracciones depende de la densidad de la suspensión; el incremento de esta última influye

de distinto modo sobre la determinación de la concentración de las fracciones gruesas o finas.

El autor mencionado concluye que el método del hidrómetro dé mejores resultados para los suelos de textura media (Kachinsky, 1965).

### MATERIALES Y METODOS

Los suelos estudiados fueron de México y de algunos otros países, estos últimos propor-

cionados por el Programa de Intercambio de Datos y Métodos de Laboratorio del Centro Internacional de Información y Referencia de Suelos, Wageningen, Holanda (Cuadro 1). Entre ellos se encontraban suelos salinos (Solonchak sódico de Hungría y un suelo salino calcáreo gipsico de Siria), suelos volcánicos (Andosol mólico de México), Vertisoles pélicos (de Kenia y de México) y algunos suelos representativos de otros grupos genéticos.

El método del hidrómetro empleado (Bouyoucos, 1951) constó de las siguientes fases: dispersión química con pirofosfato de

Cuadro 1. Procedencia, profundidad y algunas características químicas de los suelos empleados en este trabajo.

No.	Tipo de suelo	Horiz.	Prof.	Origen <sup>1)</sup>	Carbono orgánico	CIC	pH (H <sub>2</sub> O)
			cm		%	meq/100g	
1	Salino calcáreo-gipsico	B	40-50	Siria	0.1	13.8	7.9
2	Solonchak sódico	B	16-29	Hungría	0.2	9.1	10.3
3	Solonchak sódico	C	55-90	Hungría	0.1	2.4	10.2
4	Vertisol pélico	A	0-20	México	2.0	31.3	7.3
5	Vertisol pélico	A	0-20	Kenia	1.8	76.7	7.9
6	Vertisol pélico	C	110-150	Kenia	1.4	76.7	8.4
7	Argiustoll típico	A <sub>p</sub>	0-20	México	1.1	14.5	6.7
8	Argiustoll típico	A <sub>1</sub>	0-19	USA	2.1	19.8	6.2
9	Argiustoll típico	B <sub>2t</sub>	44-67	USA	0.6	23.2	7.2
10	Rojo mediterráneo	A	0-21	Francia	1.9	17.5	8.0
11	Rojo mediterráneo	B	21+	Francia	0.4	15.6	7.9
12	Acrisol férrico	B <sub>2</sub> lt	43-92	Malasia	0.3	2.4	4.8
13	Luvisol órtico	B <sub>1</sub>	27-58	Holanda	0.3	12.1	6.5
14	Luvisol órtico	B <sub>2</sub>	58-102	Holanda	0.2	10.2	6.8
15	Luvisol órtico	A <sub>1</sub>	0-20	México	-	-	-
16	Podsol	B <sub>2</sub>		Canadá	4.9	19.8	5.0
17	Ferrasol xántico	A <sub>1</sub>	0-15	Brasil	1.2	3.9	5.7
18	Ferrasol xántico	B <sub>2t</sub>	80-15	Brasil	0.2	1.3	4.9
19	Andosol mólico	A <sub>1</sub>	0-40	México	2.1	39.5	6.3
20	Arenosol cámbico	A <sub>p</sub>	0-20	México	1.2	5.9	7.1
21	Serozem típico	-	-	URSS	-	-	-

1) Los suelos originarios de países distintos de México corresponden a las muestras del Programa Intercambio de Datos y Métodos de Laboratorio (Round 85-1) del International Soil Reference and Information Centre (Wageningen) y los resultados son los reportados en el Informe Interno 85-1 (Pleijssier, 1986). No hay información del suelo de la URSS.

sodio, después de un tratamiento del suelo con agua oxigenada al 6% para eliminar la materia orgánica; dispersión mecánica por agitación de la suspensión con una mezcladora eléctrica, durante un período de 15 minutos.

Medición de las fracciones de tamaño 2 a 0.05 mm, y de 0.05 a 0.002 mm y menor de 0.002 mm con hidrómetro, en la forma acostumbrada, a los 40 segundos y 2 horas; para determinar las fracciones limo + arcilla y arcilla, respectivamente.

El método de la pipeta (Kachinsky, 1965) consistió en dispersar una muestra de suelo con ácido clorhídrico al 0.05N y lavar los productos de la reacción con agua destilada. Posteriormente el complejo de intercambio catiónico del suelo se saturó con sodio (NaOH 1N) y el suelo se dispersó mecánicamente por medio de la agitación recíproca (1 h) y hervor (1 h). Las fracciones mecánicas se evaluaron tomando alícuotas con la pipeta de Kachinsky-Fedulof, que tiene una forma oval, lo que facilita su lavado. La suspensión entra a esta pipeta horizontalmente, por las perforaciones que se encuentran en su base. Los tiempos de observación de las diferentes fracciones correspondieron a las determinadas por la ley de Stokes. Las clases texturales se infirieron con ayuda del triángulo de Atterberg.

Los resultados obtenidos se compararon entre sí y en el caso de las muestras proporcionadas por el ISRIC, con los resultados reportados por Pleijsier (1986), los valores, en este caso, corresponden a las medias de los resultados reportados por laboratorios de varios países del mundo que participan en el Programa de Intercambio de Datos y Métodos de Laboratorio y fueron obtenidos con el método descrito por Van Reeuwijk (1986).

## RESULTADOS Y DISCUSION

Los resultados del análisis mecánico realizado por las diferentes metodologías descritas se encuentran en los Cuadros 2 y 3.

Su comparación se efectuó tanto a través de los porcentajes de fracciones de un tamaño determinado como por medio de las clases texturales. Cabe señalar que los métodos de Bouyoucos (1927) y el propuesto por ISRIC (Van Reeuwijk, 1986) consideran como arcilla la fracción menor de  $2\mu\text{m}$ , en tanto que el de Kachinsky (1965) llama arcilla a la fracción menor de  $1\mu\text{m}$ .

En todos los suelos salinos (suelos 1, 2 y 3) el contenido de la fracción arcillosa, obtenida por el método de Bouyoucos, superó varias veces al registrado por el método de la pipeta. Por ejemplo, en el suelo salino calcáreo-gípsico de Siria, el porcentaje de arcilla con el primer método fue igual a 48% y muy superior al 7% que se obtuvo con el método de la pipeta. Las magnitudes mencionadas se expresaron directamente en la clase textural del suelo. Por el método de Bouyoucos el suelo se clasificó como una arcilla y según el de la pipeta fue franco (Cuadro 3). Esta diferencia tan significativa se puede explicar con base en lo señalado en la Revisión de Literatura. En el caso del método de la pipeta fueron eliminados todos los carbonatos, los que se separaron como una fracción de los elementos mecánicos poco estables. Además, el pirofosfato de sodio dio lugar a las reacciones secundarias mencionadas en la Revisión de Literatura, lo cual provocó la formación de nuevos elementos mecánicos. Las clases texturales determinadas con ambos procedimientos difirieron radicalmente (Cuadro 3). Los porcentajes de arcilla reportados por Pleijsier (1986) para algunas muestras de suelo analizadas por el procedimiento propuesto por el ISRIC, fueron intermedios. Ello se debería a que la eliminación de las sales solubles y carbonatos en ese método se hace con acetato de sodio, un reactivo mucho menos enérgico que el HCl. Es probable que los métodos de Bouyoucos y el propuesto por el ISRIC contabilicen como arcilla a elementos mecánicos efímeros o de neoformación. El análisis de partículas en este tipo de suelo requiere de mayor atención, ya que los procedimientos empleados difirieron considerablemente en los resultados obtenidos.

Cuadro 2. Porcentajes arena, limo y arcilla determinados por tres procedimientos de análisis de partículas.

Suelo	Arena			Limo			Arcilla		
	PF 1)	HCl 2)	ISRIC 3)	PF	HCl	ISRIC	PF	HCl	ISRIC
	----- % -----								
1. Salino/calcareo-gipsico-Siria	32	52	37	20	42	18	48	7	43
2. Solonchak-sódico B - Hungría	40	67	60	18	18	14	42	16	26
3. Solonchak-sódico C - Hungría	40	87	88	10	6	5	20	7	7
4. Vertisol-pélico A - México	45	13	-	25	48	-	30	40	-
5. Vertisol-pélico A - Kenia	14	23	7	8	32	7	78	46	86
6. Vertisol-pélico C - Kenia	16	21	7	8	33	6	76	46	86
7. Argiustoll típico A <sub>p</sub> - México	60	50	-	18	40	-	22	10	-
8. Argiustoll típico A <sub>1</sub> - USA	30	26	56	40	46	18	30	30	25
9. Argiustoll típico B <sub>2t</sub> - USA	14	33	51	50	39	18	36	26	31
10. Rojo Medit. A-Francia	34	56	49	28	17	17	38	28	34
11. Rojo Medit. B-Francia	32	29	42	22	38	18	46	33	41
12. Acrisol férrico B <sub>2lt</sub> - Malasia	38	70	64	22	5	1	30	12	35
13. Luvisol órtico B <sub>1</sub> - Holanda	22	24	59	48	54	17	30	22	23
14. Luvisol órtico B <sub>2</sub> - Holanda	30	35	66	46	48	15	24	17	20
15. Luvisol órtico A <sub>1</sub> - México	28	25	-	42	36	-	30	35	-
16. Podzol B <sub>2</sub> - Canadá	50	65	77	38	34	16	12	2	7
17. Ferrasol xántico A <sub>1</sub> - Brasil	76	53	87	6	33	1	18	14	12
18. Ferrasol xántico B <sub>2t</sub> - Brasil	62	64	72	4	6	1	34	27	27
19. Andosol mólico-México	28	17.6	-	38	57	-	34	24	-
20. Arenosol cámbico - México	41	63	-	31	8	-	30	27	-
21. Serozem típico-URSS	13	6	-	73	82	-	11	21	-

1) Método de Bouyoucos (1951).  
 2) Método de Kachinsky (1965).  
 3) Reportados por Pleijsier (1986).

Por los antecedentes discutidos se supone que el procedimiento de Kachinsky (1965) es el más adecuado.

Diferencias considerables se obtuvieron para la textura de los suelos tipo Vertisol pélico, tanto de México como de Kenia (suelos 4, 5 y 6). En el suelo de Kenia (Horizontes A y C) el porcentaje de la fracción arcillosa determinado por el método de Bouyoucos fue en promedio 77% en tanto que el método de la pipeta sólo alcanzó 46%. Sin embargo, la fracción limosa fue mucho mayor cuando se usó el último método. A pesar de las diferencias, las clases texturales no difirieron substancialmente como en el caso de los suelos salinos (Cuadro 3). El procedimiento propuesto por el ISRIC proporcionó porcentajes de arcilla aun mayores que el método de Bouyoucos, lo cual indica que la dispersión de los Vertisoles requiere de una agitación mecánica bastante enérgica.

En los suelos tipo Argiustoll típico de USA y de México (suelos 7, 8 y 9), rojo mediterráneo de Francia y Acrisol férrico de Malasia (suelos 10, 11 y 12), Luvisol órtico de Holanda y México (suelos 13, 14 y 15), Podzol de Canadá y Ferrasol xántico de Brasil (suelos 16, 17 y 18) y los Andosol y Arenosol de México (suelos 19 y 20) la mayor dispersión, juzgada a partir de los porcentajes de arcilla, se obtuvo, en general, con el método de Bouyoucos que usa pirofosfato de sodio como dispersante. Las excepciones son el horizonte A del Argiustoll de USA y el horizonte A del Luvisol órtico de México. Es probable, sin embargo, que este método, comúnmente empleado en México, provoque una dispersión mecánica artificial del suelo (por acción de la agitación con batidora eléctrica) que introduce en la suspensión partículas finas provenientes de la ruptura interna de las partículas mecánicas del suelo. Las diferencias en los porcentajes de la fracción arcillosa determinada por el método de Bouyoucos y el de Kachinsky varía entre 7-18%, lo cual influyó en la denominación de la clase textural de algunos suelos. Las diferencias señaladas pudieran deberse a que se llamó fracción arcilla a partículas ligeramente más grandes en el método de Bouyoucos. Sin embargo, los resultados alcanzados con el

procedimiento propuesto por ISRIC son muy parecidos a los obtenidos con la dispersión en HCl, lo cual avala la aseveración de Kachinsky (1965), quien cita la opinión de diversos autores, en cuanto a que el ácido clorhídrico sería un mejor dispersante que el pirofosfato de sodio. Los datos para el Serozem de la URSS (suelo 21), tomados del trabajo de este autor, confirman su suposición, a pesar del mayor porcentaje de arcilla obtenido por el método de Bouyoucos, éste sólo provocó pequeños cambios en la clase textural, pero hace necesario reevaluar la influencia del agitador mencionado sobre los resultados del análisis de textura.

En otras metodologías, incluyendo la propuesta por el ISRIC, se efectúa una agitación externa de las suspensiones, lo que se traduce en menores proporciones de arcilla y mayores de limo, lo cual pareciera más apegado a la realidad.

## CONCLUSIONES

1. El método común de Bouyoucos (hidrómetro) da como resultado clases texturales similares a las obtenidas por el método Kachinsky e ISRIC (pipeta), para la mayor parte de los suelos estudiados y puede ser recomendado para trabajos aplicados, pero no en investigaciones que requieran una mayor exactitud en la determinación de las diferentes fracciones mecánicas.
2. Para los suelos salinos y sódicos los métodos de Bouyoucos y del ISRIC no pueden ser aplicados, ya que arrojan diferencias muy significativas (siete veces en algunos casos) en el contenido de la fracción arcillosa.
3. El contenido de arcilla determinado por el método del hidrómetro en la mayoría de los casos supera al obtenido con la pipeta. Posiblemente, el agitador mecánico que se usa para la dispersión en el primero de éstos rompe las partículas mecánicas del suelo.

Cuadro 3. Clases texturales según los resultados de arcilla, limo y arena obtenidos por tres procedimientos de dispersión.

Suelo	Clase textural		
	PF <sup>1)</sup>	HCl <sup>2)</sup>	ISRIC <sup>3)</sup>
1. Salino calcáreo-gípsico-Siria	Arcilloso	Franco	Arcilloso
2. Solonchak sódico B. Hungría	Arcilloso	Franco-arenoso	Franco-arcillo-arenoso
3. Solonchak sódico C. Hungría	Arena-franca	Arena-franca	Arena-franca
4. Vertisol pélico A. México	Franco-arcilloso	Arcillo-limoso	-
5. Vertisol pélico A. Kenia	Arcilloso	Arcilloso	Arcilloso
6. Vertisol pélico C. Kenia	Arcilloso	Arcilloso	Arcilloso
7. Argiustoll típico A <sub>p</sub> - México	Franco-arcillo-arenoso	Franco	-
8. Argiustoll típico A <sub>1</sub> - USA	Franco-arcilloso	Franco-arcilloso	Franco-arcillo-arenoso
9. Argiustoll típico B <sub>2t</sub> - USA	Franco-arcillo-limoso	Franco	Franco-arcillo-arenoso
10. Rojo medit. A. Francia	Franco-arcilloso	Franco-arcillo-arenoso	Franco-arcillo-arenoso
11. Rojo medit. B. Francia	Arcilloso	Franco-arcilloso	Arcilloso
12. Acrisol férrico B <sub>2</sub> 1 <sub>t</sub> Malasia	Franco-arcilloso	Franco-arenoso	Franco-arcillo-arenoso
13. Luvisol órtico B <sub>1</sub> Holanda	Franco-arcilloso	Franco-limoso	Franco-arcillo-arenoso
14. Luvisol órtico B <sub>2</sub> Holanda	Franco	Franco	Franco-arenoso
15. Luvisol órtico A <sub>1</sub> México	Franco-arcilloso	Franco-arcilloso	-
16. Podzol B <sub>2</sub> Canadá	Franco	Franco-arenoso	Arena-franca
17. Ferrasol xántico A <sub>1</sub> - Brasil	Franco-arenoso	Franco-arenoso	Arena-franca
18. Ferrasol xántico B <sub>2t</sub> - Brasil	Franco-arcillo-arenoso	Franco-arcillo-arenoso	Franco-arcillo-arenoso
19. Andosol mólico-México	Franco-arcilloso	Franco-limoso	-
20. Arenosol cámbico - México	Franco-arcilloso	Franco-arcillo-arenoso	-
21. Serozem típico-URSS	Franco-limoso	Franco-limoso	-

1) Método de Bouyoucos (1927)

2) Método de Kachinsky (1965)

3) Reportados por Pleijsier (1986)

### AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al ISRIC por haberles proporcionado parte de las muestras empleadas en este estudio y al Sr. Arnulfo Galván M., quien hizo los análisis de laboratorio.

### LITERATURA CITADA

**BAVER, L.D., W.H. GARDNER y W.R. GARDNER.** 1980. Física de suelos. UTEHA, México, D. F.

**BOUYOCOS, G.J.** 1927. The hydrometer as a new and rapid method for determining the colloidal content of soils. *Soil Science* 23: 343-353.

**BOUYOCOS, G.J.** 1951. A recalibration of the hydrometer method for making mechanical analysis of soils. *Agronomy Journal* 43: 434-437.

**DAY, PAUL R.** 1965. Particle fraction and particle-size analysis, pp 545-567. In: C.A. Black (ed.). *Methods of Soil Analysis. Part. 1.* American Society of Agronomy, Madison, Wisconsin (Agronomy 9).

**KACHINSKY.** 1965. Física de suelos, Editorial Escuela Superior, Moscú, URSS (en ruso).

**PLEIJSIER, L.K.** 1986. The laboratory methods and data exchange programme. Interim report on the exchange round 85-2. International Soil Reference and Information Centre, Wageningen, Holanda (Working Paper and Preprint 86/1).

**THENG B., K.G.** 1980. Soils with variable charge. New Zealand Society of Soil Science, Lower Hutt, N.Z.

**VAN REEUWIJK, L.P.** (Ed.) 1986. Procedures for soil analysis. International Soil Reference and Information Centre, Wageningen, Holanda.

LA ACCION DEL NITRATO SOBRE ALGUNAS ENZIMAS EN LOS NODULOS DE SOYA  
INOCULADA CON Rhizobium japonicum NR<sup>+</sup> O NR<sup>-</sup>.

The Action of Nitrate on Some Nodule Enzymes of Soybean Inoculated with  
Rhizobium japonicum NR<sup>+</sup> or NR<sup>-</sup>.

Gabriel Alcántar G. y Marie Louise Champigny

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

Laboratorio de Fotosíntesis y Metabolismo, Universidad de Paris-Sur, (ORSAY) Edificio 430,  
91405 ORSAY-CEDEX, FRANCIA

RESUMEN

La relación entre la nitrato reductasa de los bacteroides y el grado de inhibición de la fijación del N<sub>2</sub> atmosférico por el nitrato, es estudiada en la simbiosis Soya-Rhizobium japonicum con nitrato reductasa inductible (NR<sup>+</sup>) o desprovisto de nitrato reductasa inductible. Una mayor sensibilidad de la actividad de reducción del acetileno (ARA) al efecto tóxico del nitrato, está asociada a la presencia de una nitrato reductasa inductible en los bacteroides. Los "efectos directos" ligados a la presencia del ion nitrato en los nódulos son claramente distinguidos de los "efectos indirectos" consecuencia estos últimos del metabolismo del nitrato en otros tejidos de la planta hospedera.

La activación de la nitrato reductasa inductible de los bacteroides NR<sup>+</sup>, podría consumir energía a expensas del funcionamiento de la nitrogenasa (ARA). Se muestra un efecto depresivo de la fosfoenol- piruvato carboxilasa (PEP-c) en presencia del nitrato, cuando los nódulos son originados por la cepa NR<sup>+</sup>. Este efecto podría ser debido a la supresión del efecto

estimulante de la luz observado sobre esta enzima al inicio del fotoperiodo.

Palabras Clave: Fijación de nitrógeno, Soya, Nitrato reductasa, Nódulos.

SUMMARY

The relationship between bacteroid nitrate reductase activity and the inhibition of nitrogen fixation by nitrate was studied in soybean inoculated by Rhizobium japonicum with NR<sup>+</sup> or NR<sup>-</sup> inductible nitrate reductase. The highest sensitivity of ARA to nitrate was associated with the presence of an inductible nitrate reductase in bacteroids. The "direct effect" due to the presence of nitrate within the nodules is distinct from the "indirect effect" originating from plant nitrate metabolism.

These results suggest that the induction of the NR<sup>+</sup> bacteroids nitrate reductase was competing with nitrogenase (ARA) for energy. The phosphoenolpyruvate carboxylase activity of NR<sup>+</sup> nodules decreases with the nitrate supply. This inhibition probably resulted from a lower stimulation of the enzyme activity by light.

Recibido 5-88.

Index words: Nitrogen fixation, Soybean, Nitrate reductase, Nodules.

## INTRODUCCION

Los mecanismos de inhibición de la fijación simbiótica del nitrógeno molecular, en la asociación Rhizobium-leguminosa, por el nitrato, son verdaderamente complejos y aunque se han postulado varias hipótesis, ninguna de ellas ha logrado explicar totalmente el proceso (Kennedy *et al.*, 1975; Gibson y Pagan, 1977; Rigaud y Puppo, 1977; Streeter, 1981).

La aplicación de diferentes dosis de nitrato a plantas de soya inoculadas con Rhizobium japonicum NR<sup>+</sup> (provisto de nitrato reductasa inductible) o Rhizobium japonicum NR<sup>-</sup> (carente de nitrato reductasa inductible), ha permitido distinguir la inhibición a "corto plazo" o rápida ligada a la nitrato reductasa inductible de los bacteroides y la inhibición a "largo plazo" o lenta independiente de esa enzima (Champigny *et al.*, 1985). Anteriormente Stephens y Neyra (1983), habían mostrado que la inhibición de la fijación de nitrógeno atmosférico sólo se manifiesta, si el R. japonicum posee una nitrato reductasa inductible.

En este artículo se presentan resultados acerca de la acción inhibidora o estimulante del ion nitrato, sobre algunos sistemas enzimáticos de los nódulos de soya relacionados con el metabolismo carbonado (fosfoenolpiruvato carboxilasa-PEP-c) y nitrogenado (nitrato reductasa-NR<sup>+</sup>asa, nitrogenasa-N-asa y glutamina sintetasa-GS), los cuales son discutidos con base en la presencia o ausencia de una nitrato reductasa inductible bacteriana.

## MATERIALES Y METODOS

Las semillas de soya (Glycine max L. cv. Maple Arrow) se desinfectaron superficialmente con hipoclorito de calcio 3.5% P/V, se lavaron diez veces con agua destilada

y pusieron a germinar a 27°C durante cuatro días en cajas de Petri con arena y papel filtro húmedos en la oscuridad. Las plántulas fueron sembradas en vermiculita, inoculadas con 10<sup>9</sup> células ml<sup>-1</sup> de Rhizobium japonicum CB-1809 (NR<sup>-</sup>) o con Rhizobium japonicum USDA 311 b 138 (NR<sup>+</sup>) y llevadas a invernadero a temperatura de 28°C durante el día y 17°C durante la noche, suplementadas con iluminación artificial de lámparas Mazda de descarga de halógeno T2FC2, 373W, en fotoperíodos de 14 h e intensidad luminosa de 558µE.m<sup>-2</sup> h<sup>-1</sup>. Las plantas permanecieron en esas condiciones durante tres semanas, siendo alimentadas con una solución nutritiva carente de N mineral según Heller (1953). Luego de remover la vermiculita de las raíces, las plantas fueron llevadas individualmente a recipientes de PVC de 20 cmØ x 15 cm de altura llenados con 2 litros de la misma solución nutritiva sin nitrógeno y con sistema de aireación continua. Con este sistema de cultivo, la parte superior de la raíz (en donde se encuentra la mayoría de los nódulos) permanece fuera de la solución).

Para el tratamiento con nitrato, se adicionó nitrato de calcio 2.5 mM (5 mM NO<sub>3</sub><sup>-</sup>); las plantas control recibieron una concentración igual de CaCl<sub>2</sub> al mismo tiempo. El tratamiento se aplicó al inicio del fotoperíodo, cuando las plantas tenían 40 días de edad; en ese estadio la mayoría de los nódulos se encontraban completamente desarrollados y activos, las dos hojas estaban maduras y se contaban de tres a cuatro hojas trifoliadas bien expandidas, manifestándose el inicio de la floración.

## Análisis.

La materia seca se determinó pesando las muestras luego de desecación a 90°C durante 72 horas. La clorofila total fue extraída de hojas liofilizadas con acetona y cuantificada por el método de Arnon (1949). El nitrógeno inorgánico fue estimado por el método colorimétrico de Nessler (Umbreit *et al.*, 1964) para el amonio formado, luego de la mineralización sulfúrica de la materia seca. El área foliar se determinó con un integrador automático Hitachi Delta-T.

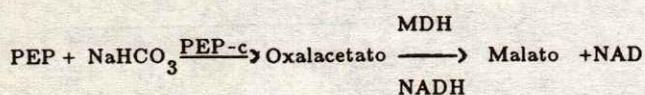
Actividades Enzimáticas.

**Nitrogenasa (N'asa).** Para determinar la actividad nitrogenasa (E.C. 1.18.2.1.) se utilizó el método clásico de reducción del acetileno (ARA) en plantas intactas (Hardy *et al.*, 1968).

**Nitrato reductasa (NR'asa).** La preparación de citosol y bacteroides para medir la actividad nitrato reductasa se efectuó a 4°C en atmósfera de N<sub>2</sub>, conforme a la técnica descrita por Stephens y Neyra (1983). La actividad NR'asa *in vitro* se midió en 100 a 200µl de citosol o suspensión de bacteroides en un medio de reacción que contiene: regulador de fosfatos pH 7.5 (50µmoles), EDTA (0.5µmoles) KNO<sub>3</sub> (10µmoles, NADH (1.4 µmoles) para el citosol o succinato de sodio (10 µmoles) para los bacteroides, en un volumen final de 1 ml. El inicio de la reacción está indicado por la adición del extracto enzimático. Esta se lleva a cabo a 30°C y es detenida después de 15 a 30 min por adición de 0.1 ml de ZnSO<sub>4</sub> (1M) y dos reactivos para desarrollar el color de los nitritos formados: 1 ml de sulfanilamida (10 g/l en HCl 1.5M) y 1 ml de N-Naftil-etilen-diamina dicloruro (0.2 g/l en agua). Las proteínas se eliminaron por centrifugación a 4800 x g durante 10 minutos.

La caloración del nitrito formado se mide por espectrofotometría a 540 nm y la cantidad de nitritos formados se determina por referencia a una curva tipo de 2 a 50 nmoles de NO<sub>2</sub>/ml.

**Fosfoenolpiruvato carboxilasa (PEP-c).** La actividad de la fosfoenolpiruvato carboxilasa (EC 4.1.1.31) está basada en la velocidad de oxidación del NADH medida por espectrofotometría conforme a la reacción:



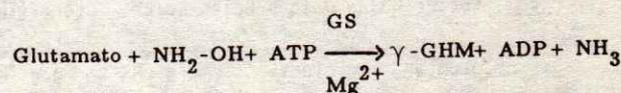
la malicodeshidrogenasa (MDH) se adiciona en exceso a fin de que la reacción solo sea limitada por la PEP-c. La medición de esta actividad enzimática, se hace en extractos crudos que contienen la fracción soluble de los nódulos que se obtiene de la siguiente manera: los

nódulos de una planta (± 800 mg) se adicionan de 5 ml de regulador Tris-HCl pH 7.8 (100 mM), NaHCO<sub>3</sub> (10 mM), PVP-40 (1%) y mercaptoetanol (2 mM), se macera el tejido en un mortero preenfriado, se filtra a través de gasa de nylon y el filtrado se centrifuga a 12000 x g durante 10 minutos.

La medición de la actividad PEP-c en los extractos brutos de citosol, se realiza según la técnica descrita por Champigny *et al.* (1983). La oxidación del NADH se registra durante 5 ó 10 min de reacción a 30°C con un espectrofotómetro (Pye-Unicam Sp8-100 UV-VIS) a 340 nm. Los tubos de reacción contienen, en un volumen final de 1.5 ml, 100 a 200µl de extracto enzimático bruto, regulador Tris-HCl pH 8.25 (100 mM), MgCl<sub>2</sub> (20µmoles), NaHCO<sub>3</sub> (10 µmoles), MDH (6 µmoles), NADH (1µmol) y PEP (10µmoles). La actividad se expresa en µmoles de NADH oxidado.min<sup>-1</sup>.g<sup>-1</sup>MF.

**Glutamina sintetasa (GS).** Para la obtención del extracto crudo de citosol se utiliza el mismo procedimiento que para la PEP-c, pero el medio de maceración y extracción está compuesto de: Imidazol (25mM), MgCl<sub>2</sub>(1 mM), EDTA (1 mM), DTT (1 mM), mercaptoetanol (10 mM) y Polyclar A.T. (100 mg/g nódulos).

La medición de la actividad glutamina sintetasa (EC. 6.3.1.2) en los extractos crudos de nódulos, se lleva a cabo conforme al método descrito por O'Neal y Joy (1973) con algunas modificaciones propuestas por Guiz *et al.* (1979). El principio está basado en la cuantificación del γ-glutamyl-hidroxamato (γ-GHM) formado en la reacción:



Los tubos de reacción contienen en un volumen de 750µl: regulador Tris-HCl pH 7.7 (50 mM) a concentración final, MgSO<sub>4</sub> (2 µmoles), L-glutamato (8µmoles), hidroxilamina (0.6µmoles), (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (0.4µmoles), EDTA (0.4 µmoles), ATP (0.8 µmoles) y 100 ó 200 µl de extracto enzimático crudo.

La incubación se hace a 30°C por 20 min y la reacción es detenida con 750µl de solución que contiene FeCl<sub>2</sub> (0.37 M), TCA (0.2M) y HCl (0.67M). Las proteínas se eliminan por centrifugación a 4800 x g durante 10 min y en el sobrenadante claro se lee densidad óptica a 540 nm.

Es necesario correr un testigo sin ATP para cada muestra. La cantidad de γ-GHM formado se puede calcular mediante una curva tipo o a partir del coeficiente de extinción molar del γ-GHM; 0.1 D.O.<sub>540</sub> = 0.66 µmol γ-GHM. La actividad GS se expresa en µmoles de γ-GHM formados.min<sup>-1</sup> g<sup>-1</sup> MF.

## RESULTADOS Y DISCUSION

Las plantas se desarrollaron únicamente por simbiosis, sin adición de nitrógeno combinado hasta la edad de 40 días. A fin de evaluar las dos asociaciones, se analizaron algunos parámetros en relación al crecimiento y composición bioquímica de las plantas, que se presentan en el Cuadro 1. Conforme a los resultados, se deduce que las dos asociaciones simbióticas son igualmente eficientes, dado que, ninguno de los

Cuadro 1. Influencia de la cepa *R. japonicum* sobre: el área foliar, materia seca, nitrógeno orgánico y clorofila en plantas de soya de 40 días desarrolladas sin aporte de N mineral.

Rhizobium japonicum	Area foliar	Materia seca Hojas Raíces		N Orgánico Hojas Raíces		Clorofila
	cm <sup>2</sup> planta <sup>-1</sup>	mg planta <sup>-1</sup>		mg g <sup>-1</sup> MS		
NR <sup>-</sup>	93.5 (16.4)	352.4 (36)	221.6 (29)	27.7 (3.1)	21.6 (10.8)	10.2 (2.0)
NR <sup>+</sup>	84.5 (18.4)	370.2 (28)	219.3 (42)	28.4 (2.1)	22.4 (1.9)	10.6 (2.2)

Valores promedio de tres repeticiones.

( ) Valor de la desviación estándar.

parámetros analizados presentó variaciones significativas. Esa homogeneidad de comportamiento en los dos casos, es importante para evaluar luego y de forma clara su respuesta a la adición de nitrato. La respuesta de la simbiosis (estimada como actividad de reducción del acetileno), al aporte de nitrato depende principalmente de la cepa de *R. japonicum* inoculada. En la Figura 1 se observa que con la cepa NR<sup>-</sup> (o) (sin nitrato reductasa inductible) sólo se detecta un efecto tóxico del NO<sub>3</sub> después de cuatro días de tratamiento en relación a su testigo, mientras que con la cepa NR<sup>+</sup> (●) (provista de NR inductible) el efecto tóxico de 5 meq NO<sub>3</sub>/l es significativo desde el primer día de tratamiento.

En la simbiosis con *R. japonicum* NR<sup>+</sup> (●) se observa una disminución de la ARA de 49% y 60% a 1 y 4 días, respectivamente, en comparación al testigo y en la simbiosis con *R. japonicum* NR<sup>-</sup> (o) la disminución de la actividad de la nitrogenasa (estimada como ARA) es solamente de 8% (no significativa) el primer día y de 30% el cuarto día.

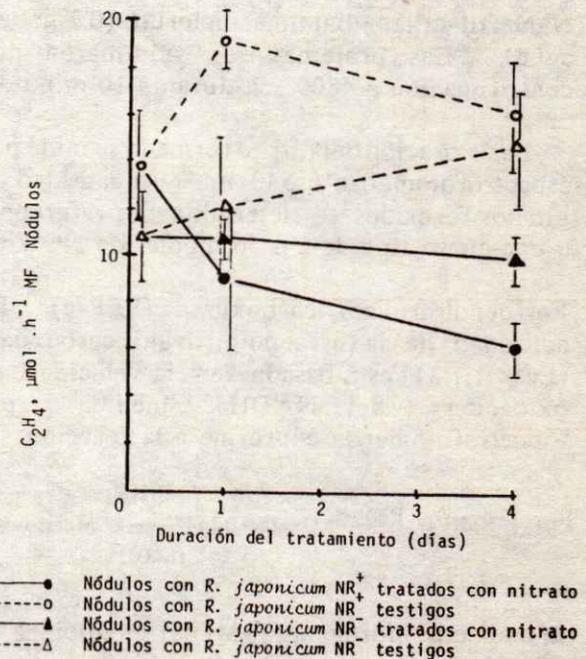


Figura 1. Efecto de la adición de nitrato sobre la actividad nitrogenasa en plantas de soya noduladas con diferentes cepas de *R. japonicum*.

Debido a que en experiencias anteriores se había determinado que la fase más activa de absorción  $\text{NO}_3^-$  se encontraba en las primeras 48 h de tratamiento, fue en este período que se estudió su efecto sobre los sistemas enzimáticos antes mencionados. En la Figura 2, se presentan los resultados de las variaciones observadas en los nódulos de las plantas testigo es decir no tratadas con  $\text{NO}_3^-$ .

En las Figuras 2A y 2B, la actividad de reducción del acetileno (ARA) muestra solo ligeras variaciones a lo largo del día de los dos casos de asociación. En las Figuras 2C y 2D, se observa que la actividad NR'asa tanto citosólica como bacteriana es muy baja aunque detectable en ambos casos. Esta actividad es ligeramente superior en los nódulos infectados con la cepa  $\text{NR}^+$ . La GS (Figuras 2E y 2F) se comporta de igual manera, con una tendencia a aumentar en los dos casos de asociación. Finalmente (Figuras 2G y 2H) en cuanto a la PEP-c se observa un aumento de su actividad en ambos casos, que coincide con las horas de mayor intensidad luminosa.

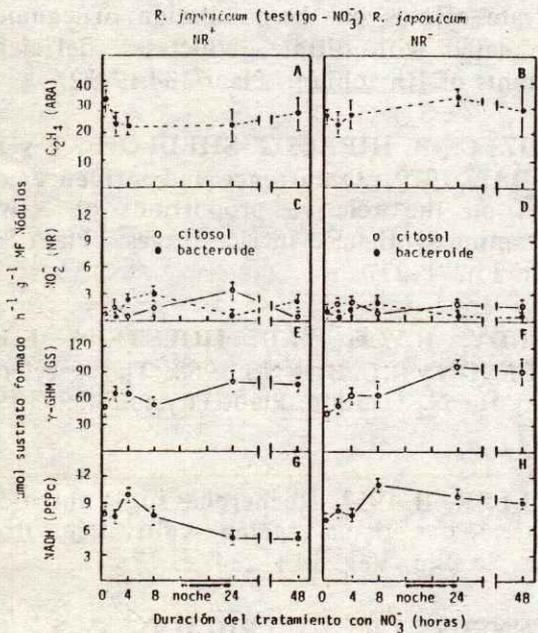


Figura 2. Actividades enzimáticas en nódulos de plantas de soja con 40 días de edad, sin adición de nitratos: N asa (A,B); NR asa (C,D); GS (E,F) y PEP-c (G,H): En el citosol (o) y en bacteroides (●).

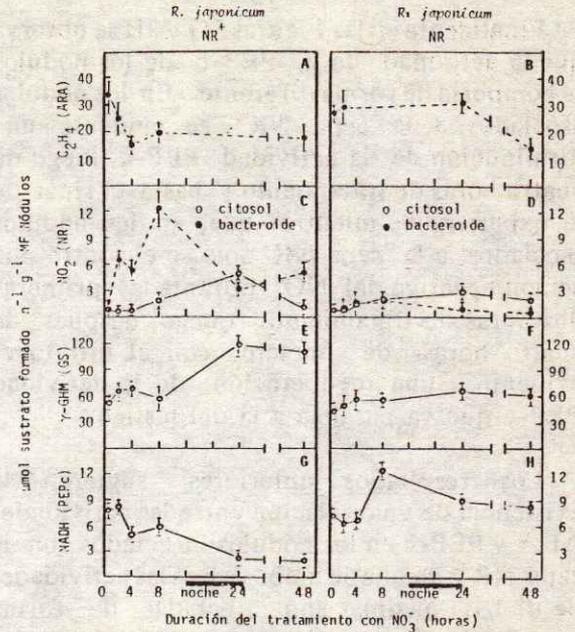


Figura 3. Efecto de la adición de nitrato ( $5 \text{ meq.l}^{-1}$ ) sobre las actividades enzimáticas en nódulos de plantas de soja de 40 días; N asa (A,B); NR'asa (C,D) GS (E,F) y PEP-c (G,H), En citosol (o) y en bacteroides (●).

Cuando las plantas son tratadas con el nitrato (Figuras 3A y 3B) se observa que la ARA disminuye drásticamente después de cuatro horas (más de 50%) en los nódulos infectados con la cepa  $\text{NR}^+$ , inhibición a "corto plazo", mientras que en los nódulos de bacteroides  $\text{NR}^-$ , la ARA no se ve afectada durante las primeras 24 h y sólo 48 h después de la adición de nitratos se encuentra una disminución estadísticamente significativa. La actividad NR'asa (Figuras 3C y 3D), aunque detectable, continúa muy baja en los nódulos infectados con la cepa  $\text{NR}^-$  tanto en el citosol como en los bacteroides. En contraste en los nódulos infectados con la cepa  $\text{NR}^+$  se observa una inducción muy clara de la actividad NR'asa tanto a nivel de bacteroides como de citosol, la cual se puede asociar a la disminución de la ARA en los mismos nódulos. La GS (Figuras 3E y 3F), es afectada de forma diferente por el nitrato, sin embargo, la actividad de esta enzima no es limitante para la fijación de  $\text{N}_2$ , ya que, dicha actividad es de 2 a 10 veces mayor que la de las otras enzimas estudiadas.

Finalmente en las Figuras 3G y 3H se observa que la actividad de la PEP-c de los nódulos se comporta de forma diferente. En los nódulos asociados a la cepa NR<sup>+</sup> es evidente una disminución de la actividad PEP-c, luego de cuatro horas de tratamiento y hasta el final de la experiencia, mientras que, en los nódulos asociados a la cepa NR<sup>-</sup> solo se encontró una acción negativa del NO<sub>3</sub><sup>-</sup> durante las primeras dos horas de tratamiento. Luego, después de cuatro horas de contacto con el nitrato es evidente una recuperación de la actividad PEP-c que va paralela a la del testigo.

Los resultados anteriores sugieren la existencia de una relación entre las actividades ARA y PEP-c en los nódulos infectados con la cepa NR<sup>+</sup>, ya que en ambos casos las actividades de dichas enzimas son afectadas de forma semejante por el NO<sub>3</sub><sup>-</sup>. En los nódulos asociados a la cepa NR<sup>-</sup> (carente del nitrato reductasa inductible) las actividades ARA y PEP-c son menos sensibles a la acción del nitrato.

### CONCLUSIONES

Los resultados del presente estudio validan el concepto propuesto por Champigny *et al.* (1985) quienes distinguen la acción del nitrato sobre la simbiosis a "corto plazo" y a "largo plazo" y permiten precisar que la acción a "corto plazo" (rápida) se encuentra ligada a la absorción del nitrato, mientras que la acción a "largo plazo" (lenta), puede ser la respuesta a una "señal" consecutiva a la absorción y posiblemente también a la asimilación de nitrato por la planta.

Se confirmó que una mayor sensibilidad de la nitrogenasa (ARA) contra la intoxicación nitríca, está asociada a la presencia de la nitrato reductasa inductible de los bacteroides.

Finalmente, la relación constante observada entre la inhibición de la ARA (enzima bacteriana), de la PEP-c (enzima del tejido vegetal) y el aumento de la NR'asa (enzima bacteriana), hace pensar que el factor de

inhibición no actúa de forma puntual, sino más bien, modifica el medio celular del nódulo completo.

### LITERATURA CITADA

ARNON, D.I. 1949. Copper enzymes in isolated chloroplasts. Polyphenoloxidase in *Beta vulgaris*. *Plant Physiol.* 24:1-15.

CHAMPIGNY, M.L., J.D.M. DEVI y F. MOUTOT. 1983. Increased phosphoenolpyruvate carboxylase activity in phosphate-deficient wheat seedlings does not alter the pattern of photosynthesis carbon assimilation. *Physiol. Vég.* 21: 1041-1045.

CHAMPIGNY M.L., LE VAN QUY y A. MOYSE. 1985. Analyse de l'action du nitrate sur la symbiose soya et *Rhizobium japonicum* pourvu ou non de nitrato reductase inductible. *C.R. Acad. Sc. Paris*, 300 Serie III, No. 1: 19-24.

GIBSON, A.H. y J. D. PAGAN. 1977. Nitrate effects on the nodulation of legumes inoculated with nitrate reductase deficient mutants of *Rhizobium*. *Plant* 134:17-22.

GUIZ, C., B. HIREL, G. SHEDLOFSKY y P. GADAL. 1979. Occurrence and influence of light on the relative proportions of two glutamine synthetase in rice leaves. *Plant Sc. Lett.* 15:271-277.

HARDY, R.W.F., R.D. HOLSTEIN, E.K. JACKSON y R.C. BURNS. 1968. The acetylene assay for N<sub>2</sub> fixation. *Plant Physiol.* 43: 1185-1207.

HELLER, R. 1953. Recherches sur la nutrition minérale des tissus végétaux cultivés *in vitro*. *Ann. Sc. Bot. Vég.* 14:1-234.

KENNEDY I.R., J. RIGAUD y J. C. TRINCHANT. 1975. Nitrate reductase from bacteroids of *Rhizobium japonicum*: enzyme characteristics and possible interaction with nitrogen fixation. *Biochim. Biophys. Acta* 397: 24-35.

**O'NEAL, D. y K.W. JOY.** 1973. Glutamine synthetase of pea leaves. I. Purification, stabilization and pH optima. Arch. Biochem. Biophys. 159:113-122.

**RIGAUD, J. y A. PUPPO.** 1977. Effect on nitrite upon leghemoglobin and interactions with nitrogen fixation. Biochim. Biophys. Acta 497:702-706.

**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.** 1981. Effects of nitrate on soybean nodules. Plant Physiol, 67:5-6.

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

## EFFECTO DE LAS APLICACIONES DE N Y P EN LA PARTICION DE MATERIA SECA Y TRANSPORTE DEL P AL GRANO EN PLANTAS DE MAIZ

Effects of N and P Applications on Dry Matter Partition and P Transfer to Maize Grain.

Octavio Pérez-Zamora.

INIFAP-Colima. Campo Experimental Tecomán. Apdo. Postal 88,  
28100 Tecomán, Col.

### RESUMEN

El N juega un importante papel en la concentración y transporte del P en la planta, sin embargo, existe poca información con respecto a los efectos de P sobre la asimilación del N y la composición y partición de la materia seca del maíz que se desarrolla en suelos calcáreos. El objetivo del trabajo fue determinar los efectos de N y P aplicados al suelo y su relación con la asimilación y transporte de P. El estudio se condujo en macetas a las que se aplicaron diferentes niveles de P combinados con N, en las cuales se desarrollaron y cosecharon secuencialmente una planta de maíz a los 20, 40, y 60 días después de la polinización.

Los resultados mostraron un marcado efecto de la aplicación de N y P sobre la cantidad y proporción de materia seca acumulada. Aplicaciones bajas de N, combinadas con niveles altos de P (300 ppm), produjeron una gran proporción de materia seca en el tallo (15% del total), un efecto opuesto fue observado para aplicaciones altas de N (7-10% del total). Igual que en otros estudios, el N aplicado al suelo

estimuló la concentración, absorción y transporte del P del tallo a otros órganos. En la presente investigación se encontró un efecto del P aplicado al suelo, el cual originó un incremento del contenido de N en las hojas inferiores al jilote y en la hoja del jilote, y estimuló el transporte del N del tallo a otros órganos. Esto último contrasta a lo reportado en numerosos estudios, los cuales sólo han encontrado efectos de dilución del P.

Palabras clave: Partición de materia seca, Efecto de dilución, Transferencia de N y P.

### SUMMARY

Nitrogen plays an important role in the concentration and transfer of plant P. However, there is a lack of information about the effect of P on assimilation and transfer of N in maize plants growing in calcareous soils. The objective of this work was to determine the effects of N and P applied to calcareous soils and to observe the relationship to assimilation and transfer of P. The study was carried out under greenhouse conditions; plants were grown in pots and harvested 20, 40 and 60 days after pollination.

Findings indicated there was a marked effect on dry matter yield when N and P were applied. Low N rates, in combination with high rates of P (300 ppm), effected stalk dry matter yield (15% of total); in contrast, dry matter yield of stalks was only 7-10% of total dry matter when the application of N was high (600 ppm). A similar trend to that observed in other studies was found with the effect of N applied to soil on the concentration, absorption and transfer process of P from stalks and leaves to the maize grain sink. In contrast to other research, in the present study when P was applied N concentration increased in lower leaves and the earleaf; moreover, this stimulated the transfer of N from stalk to other organs of maize plants.

Index words: Dry matter partition, Dilution effects, Transfer of N and P.

### INTRODUCCION

El P juega un papel fundamental en la nutrición de las plantas, ya que se le relaciona directamente con el transporte de energía como una parte integral de la estructura genética de todas las células y participa en otras funciones fisiológicas. En consecuencia, se esperaría que los niveles de P suministrados tuvieran un efecto considerable en la partición de la materia seca y en el transporte de N. Sin embargo, existe poca información respecto a los efectos de P sobre la asimilación del N y la composición y partición de la materia seca de maíz que se desarrolla en suelos calcáreos.

Los efectos del N que se aplica como fertilizante, no se observan únicamente en el rendimiento de los cultivos, concentración y asimilación del N, sino también en la concentración y asimilación del P y algunos cationes. Cole *et al.* (1963) encontraron que plántulas de maíz pretratadas con N incrementaban sus tasas de desarrollo y las de asimilación de P por peso unitario de raíces, así como la translocación de P a los órganos superiores en una proporción de 5 a 10 veces. Por su parte, Blair *et al.* (1970) observaron que las plantas que se desarrollaban con N-

NH<sub>4</sub><sup>+</sup> como sustituto nitrogenado mostraban concentraciones más altas de P que aquellas plantas tratadas con N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup>. Riley y Barber (1971) reportaron que la disminución del pH del suelo, resultante de la adición de N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, estaba estrechamente relacionada con la concentración y asimilación de P en soya (*Glycine max* L.) y Engelstad y Allen (1971) observaron una mayor asimilación de P en plantas jóvenes de maíz cuando utilizaban N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, especialmente cuando el P era aplicado en banda.

Garg y Welch (1967) indicaron que el P aplicado junto con las semillas de maíz en el suelo incrementaba el desarrollo, la concentración de P y la asimilación a las 2, 3 y 4 semanas después de la emergencia, así como también incrementaba la concentración y la asimilación de N.

El incremento en la concentración y asimilación de P en las plantas, positivamente provoca la aplicación de N, que ha sido atribuido según Miller (1974) a un mayor desarrollo de las raíces en el volumen fertilizado, efectos fisiológicos del N en la planta, alteración del pH del suelo en la interfase suelo-raíz debido a un exceso en la absorción de cationes sobre aniones y la consecuente liberación de iones H<sup>+</sup>. El mismo autor señaló que se requieren niveles relativamente altos, tanto de N como de P para que ocurra un incremento en la absorción de P. Hills *et al.* (1970) encontraron efectos similares del P sobre la concentración de N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> en plántulas de remolacha azucarera (*Beta vulgaris* L.) desarrolladas en solución nutritiva y campo, sin embargo, el efecto no fue observado en etapas posteriores de desarrollo.

Entre los trabajos recientes sobre el tema se incluyen el de Terman *et al.* (1977), en el cual los efectos múltiples de niveles de N y P aplicados al suelo sobre el desarrollo y composición de las plantas de maíz fueron estudiados en el invernadero. Las plantas de ese estudio fueron cosechadas a intervalos periódicos de seis a ocho semanas después de la germinación. Los autores encontraron que

el N aplicado incrementaba tanto la concentración como la asimilación de P en las plantas jóvenes, también que las tasas de crecimiento se incrementaban con el suministro adecuado de nutrimentos, pero declinaban una vez que el N se agotaba. Las respuestas fueron afectadas por las condiciones ambientales, el agotamiento de nutrimentos en las macetas y la dilución que se presentaba en etapas posteriores.

Los objetivos del presente trabajo fueron determinar los efectos de varios niveles de N y P sobre los rendimientos de maíz y su efecto sobre el fraccionamiento de materia seca. El conocimiento de las relaciones anteriores puede ayudar a establecer los niveles óptimos de N y P necesarios para maximizar el rendimiento y el índice de cosecha.

### MATERIALES Y METODOS

El estudio se estableció en el invernadero, en macetas con 12 kg de un suelo calcáreo del subgrupo Típico Xerorthent. Algunas de las características seleccionadas del suelo son las que se indican a continuación: pH de 7.8, conductividad eléctrica de 0.30 mmho/cm, 4.9 ppm de P extractable con  $\text{NaHCO}_3$ . En el extracto de saturación los contenidos de  $\text{Ca}^{++}$  y  $\text{Mg}^{++}$  fueron de 2.0 y 0.9 meq/l; el N total de 0.082% y el de Zn de 0.52 ppm. Los porcentajes de arena, limo y arcilla fueron de 35.0, 44.0 y 21.0, respectivamente. El difractograma de rayos X indicó la presencia de calcita, cuarzo, clorita, caolinita y esmectitas.

Los niveles de N y P aplicados se muestran en el Cuadro 1; esta combinación de niveles de N y P originó un total de nueve tratamientos en cuestión, más un tratamiento adicional, similar al número 8, que consistió en el fraccionamiento del N; la mitad al momento de la siembra y la segunda a los 400 DPP (días después de la emergencia). Cada tratamiento se repitió tres veces en un arreglo de diseño experimental completamente al azar; todas las macetas recibieron S como  $\text{MgSO}_4$  (50 ppm), KCl (50 ppm K), Fe como sequestrene-138 (25 ppm de Fe), y Zn como  $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  (25 ppm

Zn) como fertilización basal. Las fuentes de N y P para los tratamientos variables fueron  $\text{NH}_4\text{NO}_3$  y  $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ . Los 12 kg de suelo se mezclaron con soluciones de fertilizantes, homogeneizados en una revoladora de concreto y colocados en macetas conteniendo dos bolsas de plástico (drenaje restringido). Durante el período de desarrollo del cultivo, las macetas se rotaron dentro del invernadero a intervalos quincenales, agregándose perlita en la superficie para reducir la evaporación. Agua destilada fue añadida en cantidad suficiente para mantener una tensión al suelo cercana a 0.3 barias; para esto a cada maceta se dotó con un tensiómetro (Pérez, 1979).

Polinización. Esta se hizo manualmente y para asegurar una polinización uniforme los cabellos del jilote se cortaron 1 cm distante de la punta durante la noche del día que aparecieron. Polen de las espigas, previamente cubiertas con bolsas de papel fue esparcido sobre el jilote en la madrugada del siguiente día. Este procedimiento de polinización fue repetido diariamente durante seis días y de esta manera fue lograda una polinización uniforme.

Cosecha. Una planta de cada tratamiento fue cosechada en forma secuencial a los 20, 40 y 60 días después de la polinización (DDP). Las plantas se dividieron en tallo + espigas, olote + cobertura de mazorca, hojas inferiores (abajo del jilote), hoja del jilote, hojas superiores (arriba del jilote) y grano. El material vegetal fue secado a  $65^\circ\text{C}$  en una estufa con circulación forzada de aire, excepto 2 g de la hoja del jilote que fueron conservados en N líquido, almacenados en termo con hielo seco y liofilizados para la determinación de aminoácidos (resultados no presentados). Las muestras se molieron y pasaron a través de un tamiz con malla No. 40.

Métodos analíticos. El nitrógeno, incluyendo nitratos, fue determinado en cada una de las fracciones de la planta con el método semi-micro Kjeldahl (AOAC, 1970) y el P por el procedimiento del amidol (Allen, 1940).

Cuadro 1. Acumulación de materia seca (MS) en diversas partes de la planta de maíz PX-20 a diferentes días después de la polinización (DDP).

Tratamiento	N	P	DDP	Parte de la planta <sup>1)</sup>						
				A	B	C	D	E	F	G
				g de MS/planta						
1)	200	100	20	46.0	9.1	7.3	9.1	3.0	11.5	5.0
			40	27.8	9.3	7.3	7.9	2.2	13.5	24.4
			60	25.8	5.7	8.6	7.8	2.3	14.1	34.5
2)	600	100	20	47.4	14.8	8.2	8.4	3.0	16.3	19.2
			40	26.1	10.7	6.8	7.5	1.7	13.9	31.3
			60	28.8	14.7	7.4	8.3	2.2	13.2	58.2
3)	200	300	20	60.1	9.4	7.7	11.1	3.4	12.0	9.1
			40	40.1	9.0	8.4	9.2	2.1	14.8	29.7
			60	32.1	7.3	8.8	9.7	2.5	15.0	33.5
4)	600	300	20	42.3	18.3	9.4	8.7	3.2	15.5	24.8
			40	38.2	21.8	8.1	9.9	2.4	14.9	98.9
			60	29.3	17.5	8.1	8.4	2.4	13.8	109.7
5)	400	200	20	56.1	17.1	9.4	9.2	3.1	16.9	21.7
			40	39.5	16.2	7.7	9.4	2.3	14.6	62.6
			60	41.2	19.0	9.3	9.7	2.4	15.9	93.8
6)	800	200	20	37.1	23.7	8.8	9.3	3.6	13.7	29.8
			40	28.7	26.1	9.0	8.7	2.7	12.1	86.2
			60	27.1	16.7	7.3	9.5	2.4	11.8	107.4
7)	400	400	20	56.6	20.3	10.7	10.9	3.7	15.6	26.6
			40	38.5	15.7	9.0	8.7	2.0	13.1	71.1
			60	38.0	14.3	10.0	10.0	2.4	16.0	83.4
8)	800	400	20	44.8	20.6	10.2	10.8	3.7	15.9	28.8
			40	33.2	21.7	8.5	11.6	2.9	13.7	97.3
			60	31.1	15.2	8.3	10.1	2.6	15.1	115.5
9)	800 <sup>2)</sup>	400	20	27.3	18.2	10.6	8.4	3.7	12.3	24.1
			40	21.8	18.5	8.5	9.5	2.5	11.7	86.2
			60	21.7	12.9	9.1	8.1	2.0	12.9	76.8
10)	500	250	20	50.8	26.4	9.3	12.9	3.9	16.3	16.3
			40	37.0	18.6	10.3	9.9	2.4	15.6	94.0
			60	38.3	18.9	8.5	10.5	2.5	16.8	124.0

<sup>1)</sup> A = tallo + espiga; B = olote + cobertura mazorca; C = hojas inferiores; D = hojas superiores; E = hoja jilote y F = lígula y cobertura de tallo; G = grano.

<sup>2)</sup> Aplicación fraccionada de N; es la mitad la siembra y el resto 40 días después de la emergencia.

El grano de maíz cosechado a la madurez (60 DDP) se secó a 45°C en estufa con circulación forzada de aire y se molió en un molino analítico Tekmar AIO. El N y el P se determinaron por los métodos antes indicados.

Finalmente el análisis estadístico de los diferentes componentes de las plantas se hizo por análisis de varianza y regresión múltiple de acuerdo al siguiente modelo:

$$Y = b_0 + b_1 N + b_2 P + b_3 N^2 + b_4 P^2 + b_5 NP.$$

## RESULTADOS Y DISCUSION

El rendimiento de maíz en grano, expresado como porcentaje de la materia seca total, mostró una interacción clara de N y P que fue consistente a través de cada uno de los períodos de cosecha, y el modelo estadístico ( $R^2 = 92.3\%$ ) indicó la necesidad de adicionar 710 ppm de N y 320 ppm de P al momento de la siembra para obtener una máxima producción de grano de 126 g/planta a los 60 DDP. Estos resultados se encontraron relacionados a los de tallo + espigas, obviamente, una relación adecuada de N:P determinará un porcentaje óptimo de la acumulación de materia seca entre las diferentes partes de la planta.

Partición de materia seca. Los resultados de la acumulación de materia seca (MS) en diferentes partes de la planta se muestran en el Cuadro 1. Los niveles altos de N combinados con aplicaciones de P (bajas) de 200 ppm tendieron a disminuir el peso de los tallos, mientras que niveles bajos de N (200 N - 300 P) propiciaron alta producción de tallo y baja de grano. Lo anterior nos conduce a pensar que a niveles bajos de N aplicados al suelo, los substratos se acumulan en el tallo causando una baja producción de grano.

Por otra parte, un efecto opuesto al de la acumulación de MS en el tallo fue observado para olote + envoltura de mazorca para cada uno de los períodos después de la polinización, ya que el tratamiento 200 N - 300 P produjo la más baja cantidad de MS de olote + cobertura de mazorca y de grano. Este tratamiento también originó acumulación de P en el tallo, lo cual podría significar que aún después de que el P ha entrado a la raíz en condiciones de baja aplicación de N, puede permanecer inactivo para la planta debido a la lenta asimilación dentro de los compuestos orgánicos y por el movimiento restringido a otros órganos de la planta de acuerdo con Wallingford (1978), Knoll *et al.* (1964) y Power *et al.* (1970).

Efecto del N sobre la absorción de P en las partes vegetativas y el grano. Los valores de

la concentración de P en hojas superiores, inferiores del jilote y el tallo se muestran en el Cuadro 2. En éste puede apreciarse que se acumuló más P en las hojas superiores, inferiores y la de abajo del jilote cuando se incrementó la cantidad de N y P aplicado al suelo. Los resultados obtenidos mostraron los efectos esperados de la aplicación de N sobre el incremento en la concentración y absorción de P (Miller, 1974; Terman *et al.*, 1977). Esta clase de efectos ha sido atribuido a: (1) incremento del crecimiento radicular, (2) efectos fisiológicos del N en la planta, y (3) el efecto acidificante de fertilizantes nitrogenados, especialmente del  $N-NH_4^-$ , principalmente. En el presente estudio se atribuyó a la segunda causa.

Un efecto opuesto (Cuadro 2) fue encontrado para el tallo + espiga. Entre mayor fue la cantidad de N aplicado al suelo menor fue la concentración y cantidad de P que permaneció en el tallo. Esto último podría indicar que el N estimuló el transporte del P del tallo a otros órganos, pero para que este transporte pudiera ocurrir parece que el N es requerido en una cierta cantidad, como mínimo igual a la del tratamiento 3 (200 N - 300 P). La mayor acumulación y absorción de P (dado que este tratamiento también tuvo una de las mayores producciones de MS) pudieran ser explicadas en base a una lenta asimilación a los compuestos orgánicos y a un movimiento restringido hacia otros órganos de la planta (Wallingford, 1978; Knoll *et al.*, 1964; Power *et al.*, 1970).

La concentración de P en las hojas inferiores a los 20 días después de la polinización, se estimó en función de la cantidad de N y P aplicado al suelo con la expresión polinómica siguiente:

$$Y \% P = - 0.0055 + 0.000245 N + 0.000712 P + 0.000002 N^2 - 0.000002 P^2 + 0.0000006 NP.$$

El coeficiente de correlación (0.94%) encontrado para la función polinómica anterior indicó la alta dependencia del contenido de P en la planta en función de las aplicaciones de N

y P al suelo. La concentración de P en las hojas inferiores también se relacionó con la producción total de grano como lo expresa la función polinómica  $Y = -18.58 + 3131.77 P - 9445.56 P^2$ , la cual tiene una  $R^2$  de 0.918.

Esta función corrobora lo que se enunció con antelación, que el P a niveles altos de aplicación no fue un elemento restrictivo en el experimento.

Cuadro 2. Efecto de N y P aplicado al suelo en la concentración de P en diversos órganos de maíz PX-20 en tres oportunidades después de la polinización (DDP).

Tratamiento	N	P	DDP	Hoja posición				
				Inferiores	Superiores	Jilote	Tallo	Grano
				%				
				P				
				ppm				
1)	200	100	20	0.037	0.054	0.092	0.045	0.295
			40	0.024	0.026	0.035	0.039	0.216
			60	0.023	0.027	0.022	0.028	0.262
2)	600	100	20	0.033	0.091	0.108	0.034	0.256
			40	0.031	0.036	0.045	0.026	0.190
			60	0.020	0.037	0.039	0.015	0.179
3)	200	300	20	0.043	0.082	0.104	0.100	0.379
			40	0.037	0.044	0.062	0.072	0.303
			60	0.039	0.040	0.038	0.071	0.302
4)	600	300	20	0.133	0.146	0.191	0.045	0.349
			40	0.054	0.079	0.093	0.035	0.218
			60	0.044	0.054	0.069	0.024	0.239
5)	400	200	20	0.077	0.125	0.144	0.046	0.304
			40	0.036	0.048	0.065	0.028	0.210
			60	0.026	0.032	0.038	0.018	0.200
6)	800	200	20	0.197	0.236	0.239	0.065	0.316
			40	0.109	0.128	0.122	0.039	0.199
			60	0.059	0.055	0.077	0.022	0.223
7)	400	400	20	0.092	0.147	0.132	0.077	0.344
			40	0.034	0.060	0.082	0.043	0.244
			60	0.033	0.037	0.057	0.018	0.230
8)	800	400	20	0.212	0.224	0.237	0.096	0.361
			40	0.113	0.160	0.147	0.053	0.264
			60	0.055	0.095	0.098	0.030	0.220
9)	800 <sup>1)</sup>	400	20	0.233	0.285	0.290	0.133	0.374
			40	0.133	0.174	0.134	0.055	0.318
			60	0.084	0.168	0.143	0.038	0.210
10)	500	250	20	0.108	0.150	0.189	0.082	0.244
			40	0.040	0.074	0.118	0.044	0.233
			60	0.040	0.061	0.062	0.022	0.205

<sup>1)</sup> Aplicación fraccionada de nitrógeno, la mitad a la siembra y el resto 40 días después de la emergencia.

En general, se observó un decremento en la concentración de P en el grano al aumentar la dosis de N aplicado al suelo, en cada uno de los períodos de cosecha (Cuadro 2). Esto último fue debido probablemente al efecto de dilución conforme la semilla se aproximaba a la madurez. Por otra parte, el porcentaje de P recuperado en el grano (eficiencia de absorción) se incrementó con aplicaciones crecientes del N. Estos resultados se encuentran en concordancia con lo encontrado por Miller (1974).

La acumulación del P en el grano (mg/planta) se incrementó con las aplicaciones de ambos, del N y del P, y la dependencia de la absorción de P se puede estimar por la ecuación polinómica que se indica a continuación:

$$Y = -117.55 + 0.4721 N + 1.3452 P - 0.000505 N^2 - 0.003236 P^2 + 0.001096 NP$$

dicha relación guarda un coeficiente de correlación de 0.92.

Efecto del P en la absorción de N. En la literatura se encuentran pocos estudios que indiquen un efecto marcado del P aplicado, en el incremento de la concentración de N en el maíz (Terman *et al.*, 1977).

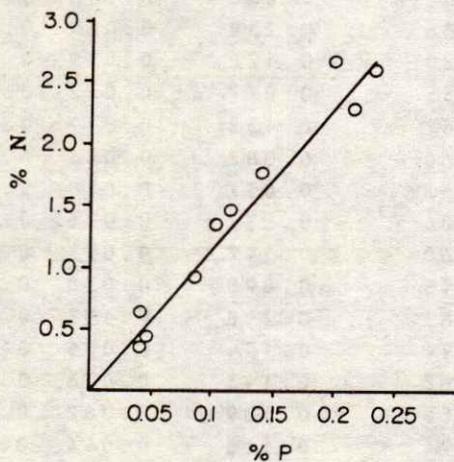


Figura 1-1. Relación entre las concentraciones de N y P (%) en las hojas inferiores de maíz a los 20 DDP.

Al respecto Terman y Allen (1974) encontraron únicamente efectos de dilución de N y P en estudios en maceta en los cuales las plantas se cosecharon de los 25 a los 53 días después del trasplante. En contraste con lo anterior, en el presente estudio se encontró un efecto marcado del P aplicado sobre la concentración de N en las partes vegetativas del maíz; de tal manera que en este trabajo la relación entre la concentración de P y N en las hojas inferiores (Figura 1) del maíz fue similar a la encontrada por Andrew (1976), para la parte superior de las leguminosas. Esta relación es típica del efecto del P sobre el incremento de la concentración de N de las leguminosas y varía en magnitud dependiendo de especie, variedad y disponibilidad de P para la planta.

En las hojas inferiores y del jilote del presente trabajo se encontró que más N se acumuló cuando se incrementó la cantidad de N y P aplicado al suelo y a mayores cantidades de P añadido (a la misma dosis de N) también fue mayor la concentración de N para cada uno de los períodos de cosecha después de la polinización.

En contraste con lo antes indicado, para el tallo se obtuvo una tendencia opuesta, entre mayor era la cantidad de P aplicado al suelo

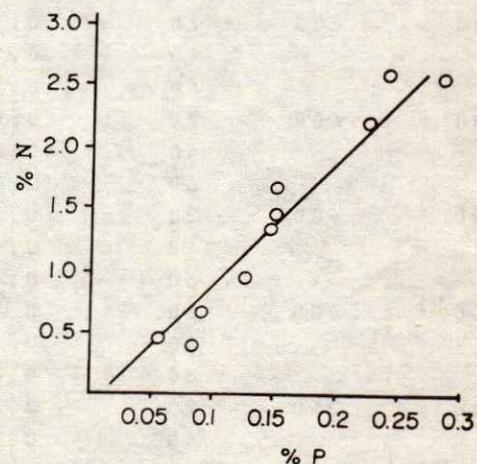


Figura 1-2. Relación entre las concentraciones de N y P (%) en la hoja debajo del jilote a los 20 DDP.

(a la misma dosis de N) menor era la concentración de N en el tallo. La concentración de N permaneció constante a los 40 y 60 DDP para cada uno de los tratamientos, lo cual indicó que no era translocado más N del tallo a las hojas superiores, a la espiga y al grano. Los resultados mostraron que con el tratamiento (600 N - 100 P) se exportó la mayor parte de su N al grano durante las etapas iniciales (20 DDP) en contraste con los tratamientos (600 N - 300 P), (800 N - 200 P), y (800 N - 400 P). La rápida disminución de N en las hojas para el tratamiento 600 N - 100 P se encontró estar relacionada con el rendimiento de grano (uno de los más bajos).

También se encontró un alto coeficiente de correlación (0.95%) entre la producción total de grano (g/maceta) y el porcentaje de N en las hojas inferiores a los 20 DDP. Esta relación se expresa por la siguiente ecuación:

$$Y = 13.174 + 244.244 N - 58.642 N^2$$

de tal manera que esta relación pueda utilizarse como diagnóstico de las necesidades de fertilización para la corrección de N en etapas tempranas de desarrollo; estos resultados son congruentes con lo encontrado en la literatura.

Por otra parte, y encadenado con lo anterior, la concentración de N en las hojas inferiores, a su vez, puede expresarse como función del N y el P adicionado al suelo de acuerdo con la siguiente expresión polinómica:

$$Y (\% N) = -0.7545 + 0.00021 N + 0.008718 P + 0.000002 N^2 - 0.000016 p^2 - 0.000016 NP$$

la cual mostró una  $R^2 = 87.2\%$ , sin embargo, la extrapolación de este resultado es de limitado valor al tratar de reproducirlo en condiciones de campo; esto en virtud de que el contenido de N en la planta, bajo condiciones de campo, está en función de factores adicionales a los del N y P aplicado al suelo.

## CONCLUSIONES

1. Una gran proporción de la materia seca total de la planta se acumuló en el tallo cuando se aplicaron niveles bajos de N (200 ppm) combinados con adiciones de 300 ppm de P.
2. Un efecto opuesto al anterior se observó cuando se aplicaron niveles altos de N y P al suelo (600-800 ppm).
3. El N aplicado al suelo incrementó la absorción y concentración de P. El N estimuló también el transporte de P de los tallos a otros órganos, pero para que un transporte efectivo ocurriera se requería una aplicación mínima de N (400 ppm); sin esta condición el P se acumulaba en el tallo.
4. El P aplicado al suelo incrementó el contenido de N en las hojas inferiores al jilote y en éste, y estimuló el transporte del N del tallo a otros órganos.
5. Tanto las concentraciones de N como de P en las hojas inferiores a los 20 días después de la polinización, se correlacionaron altamente con el rendimiento de grano.

## LITERATURA CITADA

- ALLEN, R.J. 1940. Estimation of phosphorus. *Biochem. J.* 34B: 858-65.
- ANDREW, C.S. 1976. Nutritional restraints on legume symbiosis. In: J.M. Vincent (ed.) *Exploiting the legume rhizobium symbiosis in tropical agriculture.* Univ. of Hawaii, College of Trop. Agric. Misc. Bull. 145.
- AOAC. 1970. *Official methods of analysis.* II edn. pp. 16, 128 (Horowitz, W.E., Ed), Washington, D.C.
- BLAIR, C.J., N.M. MILLER, y W.A. MITCHELL. 1970. Nitrate and ammonium sources of nitrogen for corn and their influence on the uptake of other ions. *Agron. J.* 62: 530-532.

- COLE, V.V., D.L. GRUNES., L.K. PORTER, y S.R. OLSEN.** 1963. The effects of nitrogen on short-term phosphorus absorption and translocation in corn. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 27: 671-674.
- ENGELSTAD, O. P., y S. E. ALLEN.** 1971. Effect of form and proximity of added N on crop uptake of P. *Soil Sci.* 112: 330-337.
- GARG, K.P., y L.F. WELCH.** 1967. Growth and phosphorus uptake by corn as influenced by phosphorus placement. *Agron. J.* 59: 152-154.
- HILLS, F.J., R.L. SAILSBERY., A. ULRICH, y K.M. SIPITANOS.** 1970. Effect of phosphorus on nitrate in sugar beets. *Agron. J.* 62:91-92.
- KNOLL, H.A., D.J. LATHWELL, y N.C. BRADY.** 1964. The influence of root zone temperature on the growth and contents of phosphorus and anthocyanin of corn. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 28: 400-403.
- MILLER, M.H.** 1974. Effects of nitrogen on phosphorus absorption by plants. In: E.D. Carson, (ed). *The plant root and its environment.* The University Press of Virginia.
- 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. Tesis. Universidad de California, Davis.
- POWER, J.F., D.L. GRUNES., G.A. REICHMAN, y W.O. WILLIS.** 1970. Effect of soil temperature on rate of barley development and nutrition. *Agron. J.* 55: 389-392.
- RILEY, D., y S.A. BARBER.** 1971. Effects of ammonium and nitrate fertilization on phosphorus uptake as related root-induced pH changes at the root-soil interface. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 35: 301-306.
- TERMAN, G.L., y S.E. ALLEN.** 1974. Accretion and dilution of nutrients in young corn, as affected by yield response to N, P and K. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 38: 455-460.
- TERMAN, G.L., J.C. NOGGLE, y C.M. HUNT.** 1977. Growth rate nutrient concentration relationship during early growth of corn as affected by applied N, P, and K. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 41: 363-368.
- WALLINGFORD, W.** 1978. Phosphorus in starter fertilizer temperature relationships. In: C.P. Ellington, (ed.) *Phosphorus for agriculture.* Potash/Phosphate Institute. Atlanta, GA.

# INFLUENCIA DE LAS ARCILLAS EN EL NUMERO, ACTIVIDAD Y CRECIMIENTO DE LAS BACTERIAS EN SUELO

Influence of Clays on Number, Activity and Growth of Bacteria in Soil.

B.G. Reyes-Reyes y J.J. Peña-Cabriales

Centro de Investigación y Estudios Avanzados del IPN, Unidad Irapuato, Apdo. Postal 629, 36500 Irapuato, Gto.

## RESUMEN

El crecimiento y la actividad de los microorganismos en hábitats naturales depende, en última instancia, de la expresión de sus potencialidades genéticas. Comúnmente estas capacidades se detectan en el laboratorio bajo condiciones controladas, pero en sitios como el suelo, caracterizados por la interacción dinámica entre sus componentes, dicha expresión está altamente limitada ya que debe ocurrir bajo una gama de circunstancias en continuo cambio.

En el hábitat edáfico la fase sólida predomina y forma un sinnúmero de interfases sólido-líquido. De esta manera, las arcillas y otras partículas coloidales dan lugar a fenómenos de superficie como adsorción, floculación y agregación.

La adsorción modifica la distribución de iones, de moléculas y de nutrientes microbianos en general, así como las características del agua y su disponibilidad; consecuentemente, ejerce un marcado control en la sobrevivencia, el metabolismo y el crecimiento de las bacterias presentes en el suelo.

La floculación y agregación de las partículas coloidales inducen la formación de agregados dentro de los cuales existen zonas microscópicas o "microhábitats" con propiedades físicas y químicas muy diversas que regulan la dinámica de las poblaciones microbianas.

La presente revisión hace un análisis de los mecanismos propuestos para explicar los fenómenos observados, destacando la importancia de considerar tales fenómenos al interpretar los resultados de ensayos microbiológicos en suelo.

Palabras clave: Arcilla, Microhábitat, Interacción, Bacterias.

## SUMMARY

The growth and activity of microorganisms in natural habitats, is ultimately determined by the expression of their genetic potentiality. Usually, these are detected *in vitro* but in the soil their expression is limited by factors that are constantly changing.

The physical constituents of the soil are present in large amounts and form many solid-liquid interfaces on whose surface the

phenomena occur. These phenomena modify the molecular and ionic environment of microbial cells, which results in formation of "micro-habitats", sites of microscopic dimensions with specific physical, chemical and biological characteristics which determine longevity, growth and activity of microorganisms present in soil.

This article analyzes the proposed mechanisms in order to explain the observed phenomena, emphasizing the importance of considering such phenomena when interpreting the results from microbiological trials in soils.

Index words: Clays, Micro-habitats, Bacteria, Interaction.

## INTRODUCCION

El hábitat microbiano terrestre se caracteriza por una gran heterogeneidad física, química y biológica, por sus dimensiones microscópicas, así como por un alto grado de dinamismo en el espacio y en el tiempo. (Marshall, 1976; McLaren y Skujins, 1968; Rosenzweig y Stotzky, 1979). Estas características permiten describirlo como una matriz de sistemas coloidales en la cual la fase sólida predomina sobre las fases líquida y gaseosa.

La fase sólida al interaccionar con las porciones líquida y gaseosa del mismo hábitat da lugar a una gran diversidad de interfases, donde cada componente del suelo interacciona con los demás dando lugar a un complejo ambiente físico-químico-biológico en equilibrio dinámico. Bajo esta perspectiva, el cambio de un solo componente del suelo repercute modificando en forma concomitante a los demás y ocasionando que todo el micro-hábitat sufra una alteración (Stotzky, 1972).

El objetivo de este trabajo, basándose en los reportes de la literatura, es llamar la atención sobre la influencia que las arcillas ejercen,

a través de sus propiedades físicas y químicas, en la actividad del componente más abundante de la microbiota edáfica: las bacterias.

Las bacterias, capaces de crecer rápidamente (Brock, 1971) y de descomponer una gran variedad de sustratos naturales, participan directamente en una serie de transformaciones y de interacciones ecológicas que se presentan en el suelo y trascienden en la naturaleza entera; estos fenómenos naturales podrán ser interpretados más acertadamente cuanto más se conozca sobre los factores que limitan la actividad microbiana en los suelos.

Los coloides del suelo, grupo al que pertenecen las arcillas minerales, las sustancias húmicas, los virus y las bacterias, (Marshall, 1976; Stotzky, 1966b; Stotzky y Burns, 1982) se caracterizan (1) por su tamaño, que fluctúa alrededor de los 200 nm de diámetro, (Marshall, 1976; Stotzky y Martin, 1963), (2) por exponer una gran área superficial por unidad de masa (Marshall, 1976) y (3) por llevar cargas electrostáticas residuales en su superficie (Ellwood, 1970, 1971; Ellwood y Tempest, 1972; Marshall, 1967; Santoro y Stotzky, 1967, 1967b, 1968). Esto último confiere a las partículas, propiedades peculiares que dan lugar a fenómenos como: potencial de superficie, doble capa difusa, adsorción, floculación, agregación e intercambio iónico (Marshall, 1976; McLaren y Skujins, 1968). De los cuatro tipos de partículas coloidales presentes en el suelo, las sustancias húmicas están sujetas a degradación (Morril *et al.*, 1982; Stotzky, 1972) y su obtención y purificación es muy difícil.

Las bacterias del suelo, como cualquier otro organismo vivo, son en esencia microorganismos acuáticos y en el suelo muy probablemente se encuentran restringidas fisiológicamente, a la fase acuosa retenida por las arcillas (Stotzky, 1972). Por otra parte, las observaciones microscópicas muestran a los microorganismos adheridos a las superficies (Dommergues *et al.*, 1978). Así mismo, reportes interesantes indican la existencia de

correlación entre la ausencia de un determinado tipo de arcilla y la presencia en suelo de algunos hongos patógenos (Stotzky y Post, 1967; Stotzky *et al.*, 1961; Stotzky y Rem, 1967; Stotzky y Martin, 1963). Esto sugiere claramente una influencia determinante de las arcillas sobre la actividad microbiana.

Las características del suelo, las observaciones de campo y los resultados de los experimentos aquí citados son evidencias que conducen a proponer que es por mediación de los fenómenos de superficie como las arcillas afectan a las poblaciones bacterianas.

De entre los fenómenos de superficie que se presentan en el suelo, la adsorción en la interfase sólido-líquido, es la reacción más importante (Morril *et al.*, 1982; Sposito, 1984). En efecto, la adsorción en esta interfase provoca, en forma permanente la acumulación de materiales en la superficie de los coloides y modifica, consecuentemente, la distribución de agua, de iones y moléculas en solución, de gases y aun de los constituyentes sólidos, en dimensiones similares a las del microhábitat (Bacon, 1968; Marshall, 1976; Morrill *et al.*, 1982).

#### Adsorción de Iones

Las arcillas minerales del suelo generalmente tienen una carga electronegativa, la cual da lugar a las reacciones de intercambio de cationes. Esta carga, entre otras causas, puede atribuirse a la sustitución isomórfica o a la disociación de grupos hidroxilo superficiales. Así mismo, pueden llevar una carga positiva, la que permite el intercambio de aniones; esta carga puede explicarse por una protonación o por adición de iones  $H^+$  a los grupos hidroxilo superficiales.

La presencia simultánea de cargas opuestas en la superficie del coloide, así como en la fase líquida, genera en la interfase sólido-líquido un potencial eléctrico, llamado potencial de superficie (Stotzky y Martin, 1963).

Las partículas de arcilla tienden a neutralizar su electro-negatividad mediante la

adsorción de cationes dispersos en la solución. Este fenómeno conlleva a la formación de una doble capa difusa, la cual genera un gradiente en la concentración de iones y, consecuentemente, un gradiente de potencial (Marshall, 1976).

Esta doble capa difusa varía desde 0.5 hasta 100 nm de grosor dependiendo de la valencia y concentración del electrolito (Santoro y Stotzky, 1967; 1967b; 1968).

Esta doble capa difusa explica, en las arcillas, el intercambio de cationes (Hattori, 1972), reacción estequiométrica altamente significativa en la adsorción de nutrientes por las plantas, en la fertilidad del suelo, y en la capacidad amortiguadora de los suelos.

Bajo esta perspectiva, las arcillas minerales parecen influir indirectamente en el establecimiento, sobrevivencia y dispersión de los microorganismos en el suelo. En efecto, aun cuando las observaciones iniciales sólo llevaron a proponer que la textura de un suelo estaba relacionada con la sobrevivencia de algunos microorganismos como Agrobacterium tumefaciens (Dickey, 1961), Pseudomonas (Gallegly y Walker, 1949; Patel, 1929) y Bacillus atrosecticus (Leach, 1930); Conn y Conn (1940) adujeron hipótesis que han sido replanteadas por Stotzky (1966a; 1966b) y por Stotzky y Rem (1966). Estos autores proponen que la respiración de ciertas bacterias puede ser estimulada por montmorillonita y, en menor grado, por caolinita. Este efecto lo atribuyen, principalmente, a la capacidad de las arcillas para conservar el pH del medio ambiente en niveles adecuados para la vida microbiana (Stotzky *et al.*, 1961) (Figura 1). Este postulado que parece confirmarse al determinar una correlación significativa entre la respiración y la capacidad de intercambio de cationes (Figura 2), así como entre la respiración y la basicidad de los cationes intercambiables presentes en la superficie de las arcillas (Stotzky y Rem, 1966).

Conn y Conn (1940) y Babich y Stotzky (1977) explican el efecto estimulante de las arcillas sobre el crecimiento bacteriano, por la

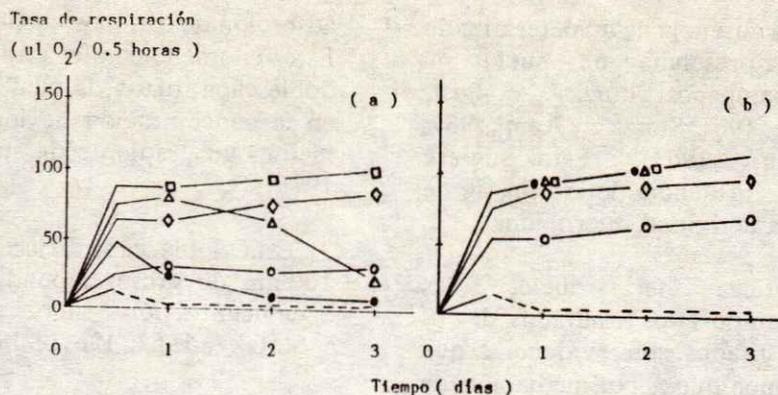


Figura 1. Efecto de la concentración de una solución reguladora sobre la respiración de *Pseudomonas striata* en presencia de (a) 5% de caolinita y (b) 5% de montmorillonita. - - - sin arcilla; ○ - - sin solución reguladora; con solución tampón a diferentes concentraciones:  $\Delta$  —  $\Delta$  0.01 M;  $\square$  —  $\square$  0.05 M;  $\diamond$  —  $\diamond$  0.1 M y  $\circ$  —  $\circ$  0.3 M (Stotzky, 1966a).

capacidad de los coloides minerales para absorber productos nocivos al crecimiento. En este sentido se ha observado que la montmorillonita y la caolinita protegen a las bacterias contra la toxicidad del cadmio, excepto cuando se trabajó con arcillas homoiónicas con cadmio. Los resultados sugieren una adsorción selectiva del cadmio exógeno al complejo de intercambio iónico (Babich y Stotzky, 1977).

Otros autores reportan que al incrementar la concentración de arcilla por arriba de un cierto valor crítico, característico de cada tipo de arcilla, la respiración de actinomicetos, hongos y bacterias se inhibe. Este efecto no ha sido suficientemente explicado; en principio se atribuye a una modificación en la viscosidad del medio donde crecen los microorganismos, lo cual pudiera disminuir la tasa de difusión del oxígeno (Stotzky, 1966b, 1972; Stotzky y Rem, 1967).

#### Adsorción de Agua

El número de bacterias en el hábitat edáfico está limitado por la disponibilidad del agua, elemento que aún en los desiertos se encuentra adherida a las arcillas minerales. La capacidad de retención de agua depende del tipo de arcilla, y su disponibilidad es función de la tensión de humedad del suelo, del

potencial osmótico y del potencial matricial, así como de la eficiencia de los microorganismos para removerla (Hattori y Hattori, 1976; Lynch y Poole, 1979; Sposito, 1984; Stotzky, 1972).

La participación del agua higroscópica en la sobrevivencia de bacterias en el suelo fue visualizada por Leach en 1930. McCall, en 1939, al analizar la disponibilidad de agua en condiciones de campo, propuso que las bacterias probablemente viven en la película de agua adherida a los coloides. Por el contrario Marshall (1967, 1968) sugiere que las arcillas forman una cubierta sobre la superficie ionogénica de las células de *Rhizobium* y las protegen contra la pérdida del agua retenida por la propia célula (Bushby y Marshall, 1977). Sin embargo, trabajos posteriores parten del análisis de las isotermas de absorción de agua y establecen que la cubierta de arcillas más bien da lugar a una mayor retención de agua (Bushby y Marshall, 1977); hipótesis que es cuestionada por Peña-Cabriales y Alexander (1979) quienes postulan, como mecanismo de este efecto de sobrevivencia, la formación de microcolonias cuyas células más internas gozan de un mayor grado de protección. Bushby y Marshall (1977), atendiendo a la susceptibilidad de rhizobia a la desecación, llegaron a la conclusión de que el factor determinante es la cantidad de agua retenida por la propia

bacteria; esta hipótesis es retomada por Os-Afiana y Alexander (1982) quienes especulan que las arcillas reducen el contenido de agua intracelular hasta niveles en que se detiene la actividad de la mayor parte de las enzimas y que las bacterias sobreviven en una matriz sólida proporcionalmente a la afinidad de la matriz por el agua.

En suma, los diferentes trabajos aún no permiten definir el mecanismo de la influencia que las arcillas tienen en la disponibilidad de agua para las bacterias; sin embargo, parece coincidir en que la presencia de arcillas favorece de alguna manera la sobrevivencia y reproducción de las bacterias. Así mismo puede establecerse que las moléculas del agua, retenidas por adsorción en los coloides del suelo, están ordenadas en una estructura cuasi-cristalina; esta estructura le confiere propiedades especiales como solvente pudiendo disolver sustancias tóxicas, alimenticias, y gases que modifiquen el metabolismo microbiano. Por otra parte, la presencia de agua en la interfase sólido-líquido puede limitar el movimiento de los microorganismos del suelo; así como, puede incrementar el espacio "activo" disponible.

#### Adsorción de Moléculas Orgánicas

Las arcillas minerales son capaces de adsorber sustratos orgánicos dependiendo de la

naturaleza, concentración y estructura de éstos, de la organización de los agregados y del tipo de arcilla. Sabiendo que las arcillas fijan muchas moléculas, incluso sustancias nocivas a los microorganismos (Conn y Conn, 1940) y si además se presupone la adsorción de bacterias, es evidente la existencia de microhábitats, únicos en sus propiedades físico-químicas. Algunos autores (Burns, 1982; Stotzky y Post, 1965) afirman que la tasa de crecimiento de los microorganismos en el suelo, depende especialmente del tipo de arcillas minerales presentes en él.

En el suelo los nutrientes, por una parte, no están distribuidos de manera uniforme, por otra parte, su adsorción en arcillas y otros materiales coloidales incrementa o disminuye su disponibilidad. En ambos casos la estructura de los agregados es aparentemente decisiva (Alexander, 1964; Marshall, 1976; Stotzky, 1972; Zobell, 1943). Zobell (1943), McLaren y Peterson (1961), Greenland (1965), Harter y Stotzky (1971), entre otros autores, han puesto en evidencia, a nivel de laboratorio, el proceso de adsorción entre moléculas orgánicas y arcillas, pero no convienen respecto al mecanismo de adsorción. Este parece ser de naturaleza hidrofóbica; en efecto, el fenómeno se presentó a pH superior al punto isoeléctrico de las proteínas, es inverso a la valencia catiónica, puede actuar sobre moléculas sin carga y señala la

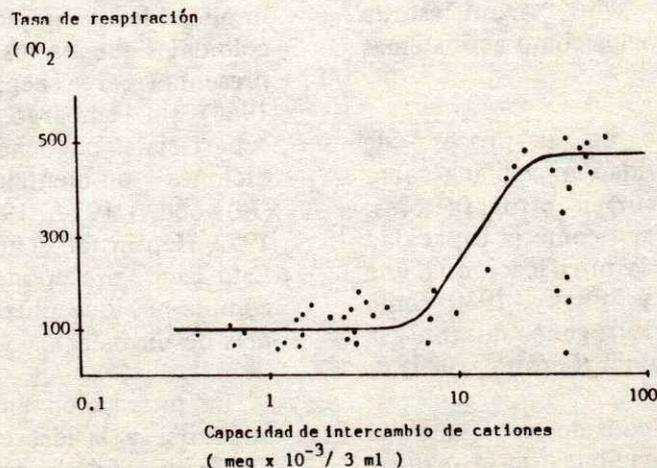


Figura 2. Relación entre la respiración de *Agrobacterium radiobacter* y la capacidad de intercambio de cationes de arcillas minerales y otras partículas (Stotzky, 1966b).

participación de fuerzas inespecíficas (Greenland, 1965; Harter y Stotzky, 1971; McLaren y Peterson, 1961), sin embargo, Bondy y Harrington (1979) han determinado que la unión entre algunos sustratos y una arcilla coloidal es estereoespecífica, mientras que Marshman y Marshall (1981a) proponen la existencia de varios sitios específicos de unión.

Bacon (1968), basado en resultados experimentales previos como los obtenidos por Estermann y McLaren (1959) y por McLaren y Skujins (1968), discurre que el factor más importante en el control de crecimiento microbiano es la disponibilidad del constituyente orgánico; pues aunque sería ilógico suponer la indisponibilidad del sustrato orgánico en el complejo arcilla-sustancia orgánica, se ha observado que al agregar un poco de suelo a una suspensión de bacterias, se retarda la asimilación de nutrientes, disminuye la formación de bióxido de carbono.

Según Lynch y Cotnoir (1956) puede suceder que las arcillas inactiven las enzimas y/o que protejan, por adsorción, los sustratos contra la degradación microbiana. Experimentos realizados por otros investigadores (Kunc y Stotzky, 1965) también permiten deducir que la arcilla, actuando como un catalizador bioquímico, acelera la tasa de degradación de algunos sustratos. Estos efectos contradictorios se han observado a nivel de campo y ponen de manifiesto la heterogeneidad de los suelos como ecosistemas microbianos.

Es indudable que en el proceso de modificación de la actividad microbiana sobre el sustrato orgánico concurren otros factores, además de la arcilla, como la capacidad reguladora en el caso de la nitrificación (Kunc y Stotzky, 1980; Macura y Stotzky, 1980) como la relación carbono/nitrógeno durante la degradación de la celulosa (Sposito, 1984).

Por otra parte debe considerarse que en el suelo todas las transformaciones de la materia orgánica son atribuibles a la actividad directa de los microorganismos, sino que también se

llevan a cabo procesos enzimáticos extracelulares. El suelo tiene actividad enzimática, independientemente de la proliferación microbiana, que está determinada, entre otros factores ambientales, por arcillas minerales con las que pueden asociarse proteínas extracelulares (Burns, 1982).

#### Adsorción de Bacterias

Marshall (1968) hace una reseña de trabajos que parecen demostrar la adsorción de microorganismos en los suelos y hacen hincapié en que este fenómeno varía en función de las características mecánicas de los suelos, de las características de la especie, de las condiciones en que se cultiven los microorganismos y del método empleado para estudiar el proceso de adsorción.

Las arcillas y bacterias poseen una gran área superficial (Alexander, 1971) lo cual propicia que entre ellas exista una interacción. Este proceso puede considerarse bajo tres modalidades: (1) numerosas células bacterianas se adosan a una superficie más grande; (2) partículas minerales y células bacterianas de dimensiones iguales interactúan formando agregados; (3) partículas minerales muy pequeñas se adsorben a la superficie de las bacterias (Marshall, 1976).

La adsorción entre arcillas y bacterias implica la interacción entre partículas coloidales que, en los microhábitats del suelo, presentan carga negativa (McLaren y Skujins, 1968); sin embargo, las cargas electrostáticas superficiales pueden ser modificadas por condiciones ambientales físicas o químicas (Ellwood, 1970, 1971; Ellwood y Tempest, 1972; Heptinstall *et al.*, 1970; Marshall, 1967). Esto hace presuponer que el fenómeno es complejo y que puede haber participación de más de un mecanismo.

La interacción entre estas partículas puede atribuirse a la adsorción de iones polivalentes; en efecto, la adsorción de estos iones disminuye el potencial eléctrico y comprime la doble capa difusa. Bajo estas circunstancias predominan

fuerzas de atracción inespecíficas (McLaren y Skujins, 1968; Santoro y Stotzky, 1967, 1967b, 1968).

Gunnison y Marshall (1937) probaron la adsorción entre bacterias y diferentes partículas inertes, los resultados señalaron la influencia del pH; en efecto, a pH menores a su punto isoelectrico, las bacterias presentan una carga superficial positiva lo cual favorece la interacción (Marshall, 1965, 1967; Santoro y Stotzky, 1968). Por otra parte, parece ser que en la superficie de las arcillas predomina un pH ácido (Alexander, 1964) y que en el punto isoelectrico de las células bacterianas es mayor en el suelo que en condiciones de laboratorio (Santoro y Stotzky, 1967b; 1968).

La presencia, simultánea en el suelo, de arcilla y bacterias hace suponer que entre ellos se establece una "competencia físico-química" por los iones en solución; aparentemente, bajo condiciones normales y debido al metabolismo celular, el flujo de iones favorece a la célula bacteriana (McCall, 1939). Por otra parte, también es probable que bajo circunstancias determinadas un catión compartido forme un "puente catiónico" que explique la adsorción arcilla-bacteria (Hattori y Hattori, 1976).

Otra posibilidad que se aduce para explicar la adsorción entre arcillas y bacterias es la participación de fuerzas capilares y de tensión superficial las cuales retienen a las bacterias en un laberinto de poros, que se forma en el interior de los agregados del suelo (Hattori y Hattori, 1976; Stotzky, 1972).

De alguna manera la fisiología debe estar involucrada en este proceso de adsorción, al respecto Marshall *et al.* (1971) observaron que la disponibilidad elevada de una fuente de carbono inhibe al fenómeno; por otra parte se ha comprobado que células jóvenes se adsorben más rápidamente que células viejas (Hattori, 1972; Marshall *et al.*, 1971).

Otros mecanismos que parecen participar en la adherencia entre arcillas y bacterias son: la

producción de exudados mucilaginosos, la presencia de flagelos y cápsulas (Bitton y Marshall, 1980; Hattori y Hattori, 1976; Zobell, 1943). La limitación de las técnicas experimentales en la medición de los factores ambientales y sus modificaciones a nivel de microhábitat, impiden el establecimiento de otros mecanismos y la certeza de los propuestos (Marshman y Marshall, 1981).

#### Adsorción Arcilla-Arcilla

Los factores que influyen en la adsorción bacteria-arcilla son también aplicables en la interacción bacteria-bacteria o arcilla-arcilla. Generalmente el proceso entre las arcillas va de una adsorción a una floculación. Este último evento, propiciado por la presencia de cationes como  $H^+$ ,  $Ca^{++}$ ,  $Mg^{++}$ , origina agregados que son estabilizados por los microorganismos del suelo (Aspiras *et al.*, 1971; Martin *et al.*, 1955; Santoro y Stotzky, 1967).

Los agregados constituyen una estructura trascendental para los microorganismos; en efecto, del arreglo entre las partículas sólidas depende la formación de poros, cuyo tamaño y distribución están relacionados con la aireación y retención de agua, con la protección de algunas sustancias orgánicas contra la degradación microbiana y con la retención, actividad y distribución de los microorganismos (Alexander, 1964; Hattori y Hattori, 1976; Stotzky, 1972).

La estructura de estos agregados da lugar a sitios muy diferentes, en cuanto a aireación, (Marshall, 1976) variaciones higrométricas, concentración de sales (Alexander, 1964), presión osmótica (Alexander, 1964), potencial redox (Stotzky, 1972), concentración de nutrientes (Alexander, 1964), pH (Alexander, 1964). Son estos agregados el origen del microhábitat (Hattori, 1981; Hattori y Hattori, 1976).

Este concepto de distribución de los microorganismos parece ser demostrado por el hecho de que en agregados en los que predominan las bacterias, abundan los poros capilares cuyo

diámetro es menor a 6000 nm; sin embargo, si los agregados se secan parcialmente, en las zonas externas prevalecen hongos, actinomicetos y bacterias formadoras de esporas, pero en las porciones internas, el mayor número corresponde a las bacterias Gram-negativas. El rehumedecimiento o la percolación de los agregados con una solución de glicerina provoca un rápido incremento del número de bacterias.

Así pues existen pequeños espacios "apropiados" para cada una de las múltiples actividades microbianas (Alexander, 1971; Stotzky, 1972), pero no en un estadio rígido sino dinámico, en el tiempo y en el espacio; esta dinámica es controlada, en gran parte, por las arcillas a través de sus propiedades fisicoquímicas.

#### Significancia Ecológica

Es una certeza la observación de que la textura del suelo es un factor importante en la sobrevivencia de bacterias (Granada y Sequeira, 1983); este fenómeno es útil en géneros como Rhizobium, pero representa una desventaja en especies fitopatógenas de Pseudomonas.

Parece ser que las arcillas adsorben selectivamente moléculas orgánicas y microorganismos favoreciendo así la degradación de las primeras 45; este mecanismo presenta particular trascendencia si se considera la gran cantidad de moléculas químicas orgánicas que el hombre desecha al medio ambiente. El suelo es receptáculo de ellos, muchos de los cuales son tóxicos. Por otra parte, este mismo proceso de adsorción pudiera explicar mejor, la ausencia de degradación microbiana, porque no hay materia orgánica en las capas menos superficiales de la tierra.

La existencia de vida microbiana aun en suelos "pobres", puede explicarse ya sea porque la interfase sólido-líquido concentra diferentes sustratos, o bien porque esta misma interfase resguarda la integridad y actividad de numerosas enzimas extracelulares.

La adsorción entre arcillas y bacterias adquiere relevancia si la interacción se considera como el primer evento en una etapa de colonización, o bien se propone como un mecanismo que la bacteria emplea contra su eliminación de un ecosistema dado y más aún si el proceso influye en el antagonismo que se establece entre hongos y bacterias en el suelo (Rosenzweig y Stotzky, 1980).

#### LITERATURA CITADA

ALEXANDER, M. 1964. Biochemical ecology of soil microorganisms. *Ann. Rev. Microbiol.* 18: 217-252.

ALEXANDER, M. 1971. Biochemical ecology of microorganisms. *Ann. Rev. Microbiol.* 25: 361-392.

ASPIRAS, R.B. ALLEN, G. CHESTERS y R.F. HARRIS. 1971. Chemical and physical stability of microbial stabilized aggregates. *Soil. Sci. Soc. Am. Proc.* 35: 283-285.

BABICH, H. y G. STOTZKY. 1977. Reductions in the toxicity of cadmium to microorganisms by clay minerals. *Appl. Environ. Microbiol.* 33: 696-705.

BACON, J.S.D. 1968. The chemical environment of bacteria in soil. In: Gray, T.R.G. y D. Parkinson. *The ecology of soil bacteria.* Univ. of Toronto, Press, Canada.

BITTON, G. y K.C. MARSHALL. 1980. Adsorption of microorganisms to surfaces. John Wiley & Sons. U.S.A.

BONDY, S.C. y M.E. HARRINGTON. 1979. L-Amino acids and D-glucose bind stereospecifically to a colloidal clay. *Science* 203: 1243-1244.

BROCK, T.D. 1971. Microbial growth rates in nature. *Bact. Rev.* 35: 39-58.

BURNS, R.G. 1982. Enzyme activity in soil: Location and a possible role in microbial ecology. *Soil Biol. Biochem.* 14: 423-427.

BUSHBY, H.V.A. y K.C. MARSHALL. 1977. Water status of Rhizobia in relation to their susceptibility to desiccation and to their protection by montmorillonite. *J. Gen. Microbiol.* 99: 19-27.

CONN, H.J. y J.E. CONN. 1940. The stimulating effect of colloids upon the growth of certain bacteria. *J. Bact.* 39: 99-100.

DICKEY, R.S. 1961. Relation of some edaphic factors to Agrobacterium tumefaciens. *Phytopathol.* 51: 607-614.

DOMMERGUES, Y.R., L.W. BELSER, y E.L. SCHMIDT. 1978. Limiting factors for microbial growth and activity in soil. *Adv. Microbial Ecology* 2: 49-104.

ELLWOOD, D.C. 1970. The wall content and composition of Bacillus subtilis var. niger growth in a chemostat. *Biochem. J.* 118: 367-373.

ELLWOOD, D.C. 1971. The anionic polimers in the cell wall of Bacillus subtilis var. niger growth in phosphorous limiting environments supplemented with increasing concentration of sodium chloride. *Biochem. J.* 121: 349-351.

ELLWOOD, D.C. y D.W. TEMPEST. 1972. Effects of environment on bacterial wall content and composition. In: Rose A.H. y D.W. Tempest. Eds. *Advances in microbial physiology*. Volumen 7. Academic Press. New York.

ESTERMANN, E.F. y A.D. McLAREN. 1959. Stimulation of bacterial proteolysis by adsorbents. *J. Soil Sci.* 10: 64-78.

GALLEGLY, Jr. M.W. y J.C. WALKER. 1949. Relation of environmental factors to bacterial wilt of tomato. *Phytopathol.* 39: 936-946.

GRANADA, G.A. y L. SEQUEIRA. 1983. Survival of Pseudomonas solanacearum in soil, rhizosphere and plant roots. *Can. J. Microbiol.* 29: 433-440.

GREENLAND, D.J. 1965. Interaction between clays and organic compounds in soils. Part I: Mechanisms of interaction between clays and defined organic compounds. *Soils Fert.* 28: 415-425.

GUNNISON, J.B. y M.S. MARSHALL. 1937. Adsorption of bacteria by inert particulate reagents. *J. Bact.* 33: 401-410.

HARTER, P.D. y G. STOTZKY. 1971. Formation of clay protein complexes. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 35: 383-389.

HATTORI, R. 1972. Growth of Escherichia coli on the surface of an anion-exchange resin in continuous flow system. *J. Gen. Appl. Microbiol.* 18: 319-330.

HATTORI, T. 1981. Enrichment of oligotrophic bacteria at microsites of soil. *J. Appl. Microbiol.* 27: 43-55.

HATTORI, T. y R. HATTORI. 1976. The physical environment in soil microbiology: An attempt to extend principles of microbiology to soil microorganisms. *Crit. Rev. Microbiol.* 4: 423-461.

HEPTINSTALL, S., A.R. ARCHIBALD y J. BADDILEY. 1970. Teichoic acids and membrane function in bacteria. *Nature* 225: 519-521.

KUNC, F. y G. STOTZKY. 1965. Influence of clay minerals on heterotrophic microbial activity in soil. *Agron. Abstr.* 89: 94.

KUNC, F. y G. STOTZKY. 1980. Acceleration by montmorillonite of nitrification in soil. *Folia Microbiol.* 25: 106-125.

LEACH, J.G. 1930. Potato Blackleg: The survival of the pathogene in the soil and some factors influencing infection. *Phytopathol.* 20: 215-228.

LYNCH, D.L. y J.R. COTNOIR. 1956. The influence of clay minerals on the breakdown of certain organic substrates. *Soil Sci. Soc. Proc.* 367-370.

- LYNCH, J.M. y N.J. POOLE. 1979. Microbial ecology, a conceptual approach. Blackwell Scientific Publication, Oxford, London.
- MACURA, J. y G. STOTZKY. 1980. Effect of montmorillonite and kaolinite on nitrification in soil. *Folia Microbial.* 25: 90-105.
- MARSHALL, K. 1965. Methods of study and ecological significance of Rhizobium-clay interactions. In: Baker, K.F. y W.C. Snyder. *Ecology of Soil Borne Plant Pathogens.* Univ. of California Press. U.S.A.
- MARSHALL, K.C. 1967. Electrophoretic properties of fast and slow-growing species of Rhizobium. *Aust. J. Biol. Sci.* 20: 429-438.
- MARSHALL, K.C. 1968. Interaction between colloidal montmorillonite and cells of Rhizobium species with different ionogenic surface. *Biochem. Biophys. Acta.* 156: 179-186.
- MARSHALL, K.C. 1976. Interfaces in microbial ecology. Harvard University Press. England.
- MARSHALL, K.C., R. STOUT y R. MITCHELL. 1971. Mechanism of the initial events in the sorption of marine bacteria to surface. *J. Gen. Microbiol.* 68: 337-348.
- MARSHMAN, N.A. y K.C. MARSHALL. 1981a. Bacterial growth on proteins in the presence of clay minerals. *Soil Biol. Biochem.* 13: 127-134.
- MARSHMAN, N.A. y K.C. MARSHALL. 1981b. Some effects of montmorillonite on the growth of mixed microbial cultures. *Soil Biol. Biochem.* 13: 135-141.
- MARTIN, J.P., W.P. MARTIN, J.B. PAGE, W.A. RANEY y J.D. DE MENT. 1955. Soil aggregation. *Adv. Agron.* 7: 1-37.
- McCALL, T.M. 1939. Physico-chemical behavior of soil colloid. *J. Bact.* 40: 33-43.
- McCARTER, S.M., P.D. DUKES y C.A. JAWORSKI. 1976. Vertical-distribution of Pseudomonas solanacearum in several soils. *Phytopathol.* 59: 1675-1677.
- McLAREN, A.D. y G.H. PETERSON. 1961. Montmorillonite as a caliper for the size of protein molecules. *Nature* 192: 960-961.
- McLAREN, A.D. y J. SKUJINS. 1968. The physical environment of microorganisms in soil. In: Gray, T.R.G. y D. Parkinson. (Eds.). *The ecology of soil bacteria.* Univ. Toronto, Press. Canada.
- MORRIL, L.G., B.C. MAHILUM y S.H. MOHIUDDIN. 1982. Organic compounds in soils: sorption, degradation and persistence. *Ann. Arbor. Science Publ. Inc. U.S.A.*
- OS-AFIANA, L.O. y M. ALEXANDER. 1982. Clays and the survival of Rhizobium in soil during desiccation. *Soil Sci. Am. J.* 46: 285-288.
- PATEL, M.K. 1929. Viability of certain plant pathogens in soils. *Phytopathol.* 19: 295-300.
- PEÑA-CABRIALES, J.J. y M. ALEXANDER. 1979. Survival of Rhizobium in soil undergoings drying. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 13: 962-966.
- ROSENZWEIG, W. y G. STOTZKY. 1979. Influence of environmental factors on antagonism of fungi by bacteria in soil: clay minerals and pH. *Appl. Environ. Microbiol.* 38: 1120-1126.
- ROSENZWEIG, W. y G. STOTZKY. 1980. Influence of environmental factors on antagonism of fungi by bacteria in soil: nutrient levels. *Appl. Environ. Microbiol.* 39: 354-360.
- SANTORO, T. y G. STOTZKY. 1967. Effect of electrolyte composition and pH on the particle size distribution of microorganisms and clay minerals as determined by the electrical sensing zone method. *Arch. Biochem. Biophys.* 122: 664-669.

SANTORO, T. y G. STOTZKY. 1967b. Influence of cations on flocculation of clay minerals by microbial metabolites as determined by the electrical sensing zone particle analyzer. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* 31: 761-765.

SANTORO, T. y G. STOTZKY. 1968. Sorption between microorganisms and clay minerals as determined by the electrical sensing zone particle analyzer. *Can. J. Microbiol.* 14: 299-307.

SORENSEN, L.H. 1981. Carbon-nitrogen relationships during the humification on cellulose in soils containing different amounts of clay. *Soil Biol. Biochem.* 13: 313-321.

SPOSITO, A. 1984. The surface chemistry of soils. Oxford Univ. Press. U.S.A.

STOTZKY, G. 1966a. Influence of clay minerals on microorganisms. II: Effect of various clay species, homoionic clays, and other particles on bacteria. *Can. J. Microbiol.* 12: 831-848.

STOTZKY, G. 1966b. Influence of clay minerals on microorganisms. III: Effect of particle size, cation exchange capacity, and surface area on bacteria. *Can. J. Microbiol.* 12: 1235-1246.

STOTZKY, G. 1972. Activity, ecology and population dynamics of microorganisms in soil. *Crit. Rev. Microbiol.* 2: 59-137.

STOTZKY, G. y G. BURNS. 1982. The soil environment: clay humus-microbe interactions. In: Burns, R.G. y S.J. Howard. *Experimental microbial ecology.* Blackwell Sci. London.

STOTZKY, G., J.E. DAWSON, R.T. MARTIN y G.H.H. TER KUILE. 1961. Soil mineralogy as a factor in the spread of Fusarium wilt of banana. *Science.* 133: 1483- 1485.

STOTZKY, G. y R.T. MARTIN. 1963. Soil mineralogy in relation to the spread of Fusarium wilt of banana in Central America. *Plant and Soil* 18: 317-338.

STOTZKY, G. y A.H. POST. 1965. Growth rates of microorganisms in soil. *Agron. Abstracts.* 89: 89.

STOTZKY, G. y A.H. POST. 1967. Soil mineralogy as possible factor in geographic distribution of Histoplasma capsulatum. *Can. J. Microbiol.* 13: 1-7.

STOTZKY, G. y L.T. REM. 1966. Influence of clay minerals on microorganisms. I: Montmorillonite and kaolinite on bacteria. *Can. J. Microbiol.* 12: 547-563.

STOTZKY, G. y L.T. REM. 1967. Influence of clay minerals on microorganisms. IV: Montmorillonite and kaolinite on fungi. *Can. J. Microbiol.* 13: 1535-1550.

ZOBELL, C.E. 1943. The effect of solid surfaces upon bacterial activity. *J. Bact.* 46: 39-56.

## INOCULACION DE LENTEJA (Lens esculenta) CON DIFERENTES CEPAS DE Rhizobium leguminosarum

Inoculation of Lentils (Lens esculenta) with Different Rhizobium leguminosarum Strains

R. Mendoza-Gamboa y J.J. Peña-Cabriales

Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del IPN-Unidad Irapuato, Apdo. Postal 629, 36500 Irapuato, Gto.

### RESUMEN

### SUMMARY

Seis diferentes cepas de Rhizobium leguminosarum fueron inoculadas a semilla de lenteja, para determinar su eficiencia bajo condiciones de campo. La evaluación se realizó en dos sitios distintos, en uno se conocía la presencia de cepas nativas de R. leguminosarum y el otro se encontraba libre de éstas. En el primer sitio no hubo respuesta a la inoculación, probablemente debido a la presencia de cepas nativas, obteniendo rendimientos promedio de 0.263 ton/ha. En el segundo sitio se observaron grandes diferencias, destacando la Cepa 1 por su eficiencia para fijar nitrógeno, lo cual repercutió en el rendimiento de grano, alcanzando valores de 1.405 ton/ha, mientras que el testigo fertilizado con 60 kg de N/ha tuvo un rendimiento de 1.011 ton/ha. En general se observó un incremento en el rendimiento con la inoculación desde 25% hasta 96% en relación a los tratamientos no inoculados.

Palabras clave: Leguminosa, Nodulación, Fijación de nitrógeno, Cepas nativas, Simbiosis.

Six different strains of Rhizobium leguminosarum were inoculated onto lentil seeds with the aim of assessing their efficiency under field conditions. The experiment was conducted in two different sites: in one of them, the occurrence of native strains of R. leguminosarum was known whereas the other was free of the specific root nodule bacteria. In the first site there was no response to inoculation, probably due to the presence of native strains, with an average yield of 0.263 ton/ha. By contrast there was a significant difference in the second site; strain 1 showed an outstanding performance in its N<sub>2</sub> fixing capability with an average yield of 1.405 ton/ha, whereas the N fertilized control (60 kg N/ha) yielded 1.011 kg/ha. The overall response to inoculation ranged from 25% to 96% higher than the uninoculated trials.

Index words: Legume, Nodulation, Nitrogen fixation, Native strains, Symbiosis.

### INTRODUCCION

La lenteja es una de las leguminosas de mayor valor nutritivo dado su alto contenido de proteína (24.2%), carbohidratos y calorías.

Recibido 2-88.

A pesar de esto, en México tiene una importancia limitada en cuanto a superficie sembrada y producción, debido a que su consumo no es muy popular. Más del 80% de la lenteja cultivada en este país es sembrada en la región denominada el Bajío, y por lo general es cultivada en suelos pobres por campesinos de escasos recursos, siendo poco probable la aplicación de nitrógeno inorgánico, por tal razón la nodulación de la lenteja puede representar la única fuente de adición de nitrógeno.

En suelos donde se ha cultivado la lenteja por varios años, es común encontrar diferentes cepas de *R. leguminosarum* por lo cual puede o no responder favorablemente a la inoculación, sin embargo, es posible el incremento de la nodulación y rendimiento a través del uso de cepas previamente seleccionadas (Muehlbauer et al., 1985). Saxena y Rana (1977) y Bhattacharyya y Sengupta (1981) observaron un incremento de grano con la inoculación, así mismo Sekhon et al. (1978) mencionan que este incremento puede ser desde 23 a 90% con cepas eficientes.

A pesar de que la lenteja como cultivo en la región del Bajío data de muchos años, no se había evaluado su potencial simbiótico, por lo que el presente estudio tuvo como objetivo evaluar la eficiencia de diferentes cepas de *R. leguminosarum* y su influencia en el rendimiento de grano en lenteja.

## MATERIALES Y METODOS

El experimento fue establecido en campo, en dos sitios cuyas características físicas y químicas de ambos suelos son muy similares, ambos de textura arcillosa, siendo diferentes principalmente desde el punto de vista microbiológico; en uno se conocía la presencia de cepas nativas *R. leguminosarum* y en el otro se encontraban ausentes. El primero se localiza en el ejido Salto de Peña perteneciente al municipio de Jerécuaro, Gto. donde generalmente se cultiva lenteja. El suelo libre de cepas nativas se encuentra ubicado en Irapuato, Gto. Las cepas utilizadas fueron seis:

*R. leguminosarum* cepa 1, *R. leguminosarum* cepa 2, *R. leguminosarum* cepa 3, *R. leguminosarum* cepa 4, *R. leguminosarum* cepa 5, y *R. leguminosarum* cepa 6, obtenidas del Laboratorio de Ecología Microbiana del CINVESTAV-Unidad Irapuato, las cuales fueron aisladas a partir de nódulos de lenteja, obtenidos de la zona lenteja del estado de Guanajuato (Jerécuaro, Apaseo el Alto y Apaseo el Grande).

El diseño experimental fue de bloques completos al azar con cuatro repeticiones, el número de tratamientos estuvo formado por cada una de las cepas comparadas con dos testigos sin inocular, uno sin nitrógeno y otro con este nutrimento, a una dosis de 60 kg/ha. Todo el experimento se fertilizó con 40 kg/ha de fósforo, con una densidad de siembra de 40 kg/ha, cultivar Jerécuaro. La siembra se realizó el 24 y 27 de noviembre de 1986, en Irapuato y Jerécuaro, respectivamente, siendo a tierra venida y a chorrillo a una profundidad de 6 cm en surcos de 3 m de longitud por 0.45 m de ancho. La inoculación se hizo a la semilla al momento de la siembra. Cada unidad experimental quedó formada por cinco surcos. El suelo con cepas nativas (Jerécuaro) no tuvo preparación (barbecho y rastreo) antes de la siembra, siendo ésta la forma tradicional en que se cultiva la lenteja, o el contrario el suelo de Irapuato fue barbechado, rastreado y nivelado.

En cuanto al riego se dio solamente unos diez días antes de la siembra en ambos sitios experimentales. En las primeras etapas de desarrollo del cultivo en Irapuato se presentó plaga de chicharrita, la cual fue controlada con dos aplicaciones de insecticidas y en Jerécuaro no hubo problemas de plagas.

Se realizaron dos tomas de datos, una cuando el cultivo estaba a 50% de floración (75 días después de la siembra), y otra a la cosecha. En el primer muestreo se determinó el número de nódulos, peso seco de nódulos, peso seco de follaje y eficiencia relativa, calculándose esta última mediante la fórmula:  $ER = 1 - (H_2 \text{ liberado} / C_2H_2 \text{ reducido})$ , utilizada por Miller y Sirois (1981). Para determinar el hidrógeno

liberado, se depositó la raíz de dos plantas en un frasco, cerrándolo perfectamente e incubando a 29°C, después de una hora se tomó una muestra de 1 ml de la atmósfera del frasco y se analizó en un cromatógrafo de gases (Hewlett Packard 5890) con el detector de termo-conductividad, con una columna que contenía un soporte de tamiz molecular 5A, con las siguientes condiciones: temperatura del horno, detector e inyector de 200°C y un flujo de He a 30 ml/min. En la reducción de acetileno se siguió la misma técnica, extrayendo el 10% del aire del frasco e inyectando un volumen igual de acetileno, se incubó una hora y se tomó una muestra, la cual fue analizada en un cromatógrafo de gases (Hewlett Packard 5880) con el detector de ionización de flama, con una columna que contenía un soporte porapak N, con las siguientes condiciones: temperatura del horno 100°C, detector e inyector de 120°C, flujo de N<sub>2</sub> 30 ml/min y aire 450 ml/min. El segundo muestreo se realizó al momento de la cosecha. Para determinar rendimiento se empleó la parte central de los surcos dejando 0.5 m de cada orilla y cosechando solamente la parte central.

## RESULTADOS Y DISCUSION

En el suelo de Jerécuaro no hubo respuesta a la inoculación, esto, entre otras causas, se puede deber a la presencia de cepas nativas inefectivas, las cuales pueden tener ventaja sobre las cepas introducidas, tanto por su densidad de población como por su capacidad para invadir los sitios de nodulación. Resultados similares han sido obtenidos por El-Sarrag y Hussein (1983), quienes examinando la respuesta de la lenteja a la inoculación, con objeto de identificar las cepas más efectivas y determinar si la inoculación era benéfica en áreas donde existen poblaciones nativas de *R. leguminosarum*, no encontraron respuesta a la inoculación debido a que la población nativa noduló satisfactoriamente a las plantas no inoculadas. Por otra parte, Muehlbauer et al. (1985) mencionan que la lenteja puede o no responder a la inoculación dependiendo del tipo de suelo y cantidad de cepas nativas.

En este suelo de Jerécuaro se tuvieron rendimientos promedio de grano de 0.245 ton/ha con los tratamientos inoculados, mientras los testigos nitrogenado y absoluto (sin inocular y sin nitrógeno) tuvieron un rendimiento de 0.350 y 0.290 ton/ha, respectivamente.

Estos resultados contrastaron con los obtenidos en el suelo libre de cepas nativas (Irapuato), donde se dieron grandes diferencias. La cepa 1 y la cepa 3 sobresalieron en la capacidad de formar nódulos así como para producir masa nodular, ya que fueron las que obtuvieron el mayor número de nódulos y el mayor peso seco de los mismos (Cuadro 1), mientras que las demás cepas tuvieron una nodulación muy pobre, así como los testigos carecieron de nodulación, lo cual nos confirmó que el suelo estaba libre de cepas nativas. Con respecto al número de nódulos del experimento de Jerécuaro, el testigo absoluto (sin inoculación y sin fertilización nitrogenada) presentó el mayor número de nódulos con 33 nódulos por dos plantas, de los cuales el 67% era inefectivo, por el contrario el testigo nitrogenado fue el que presentó la menor nodulación, lo cual pudo ser debido a que el fertilizante nitrogenado inhibió la nodulación.

Por otra parte el promedio general de peso seco de nódulos en Irapuato fue de 15.14 mg, resultando mucho mayor al promedio obtenido en el suelo con cepas nativas de 7.08 mg.

El Cuadro 1 muestra el peso seco de follaje obtenido en la localidad de Irapuato, destacando el tratamiento inoculado con la cepa 1, por otro lado la Figura 1 nos indica las diferencias en el peso seco de follaje entre los dos sitios experimentales, siendo mayor en todos los tratamientos los pesos obtenidos en Irapuato a excepción del testigo absoluto. El Cuadro 2 nos muestra la eficiencia relativa de las cepas destacando nuevamente la cepa 1 y cepa 3 por su alta eficiencia, pero en general podemos decir, que todas las cepas mostraron una buena eficiencia relativa en el suelo libre de cepas nativas a excepción de la cepa 4. Esta eficiencia disminuyó en Jerécuaro, debido a que ésta no solo fue de la cepa que se inoculó, sino del conjunto de cepas nativas incluyendo la inoculada que nodularon las plantas.

Cuadro 1. Efecto de la inoculación con *R. Leguminosarum* en la nodulación, peso seco de nódulos y peso seco de follaje en lenteja, en un suelo libre de cepas nativas (Irapuato, Gto.)\*.

Tratamiento		No. de nódulos/ 2 plantas	Peso seco de nódulos/2 plantas (mg)	Peso seco de follaje de la parte aérea/2 plan- tas (g)
<i>R. leguminosarum</i>	cepa 1	48 a	91.88 a	4.14 a
<i>R. leguminosarum</i>	cepa 2	2 b	6.55 c	2.85 b
<i>R. leguminosarum</i>	cepa 3	38 a	88.50 a	3.15 ab
<i>R. leguminosarum</i>	cepa 4	2 b	11.05 c	2.39 ab
<i>R. leguminosarum</i>	cepa 5	5 b	20.10 bc	2.36 ab
<i>R. leguminosarum</i>	cepa 6	2 b	5.83 c	2.59 ab
Testigo N		0 b	0 c	3.19 ab
Testigo absoluto		0 b	0 c	1.85 b

\* Valores seguidos de la misma letra son iguales estadísticamente (Tukey 0.05).

La alta nodulación, peso seco de nódulos, y la alta eficiencia relativa de la cepa 1 se reflejó en el peso seco del follaje (Cuadro 1) y rendimiento de grano de 1.405 ton/ha, siendo mayor a todos los demás tratamientos, incluyendo el testigo nitrogenado el cual tuvo un

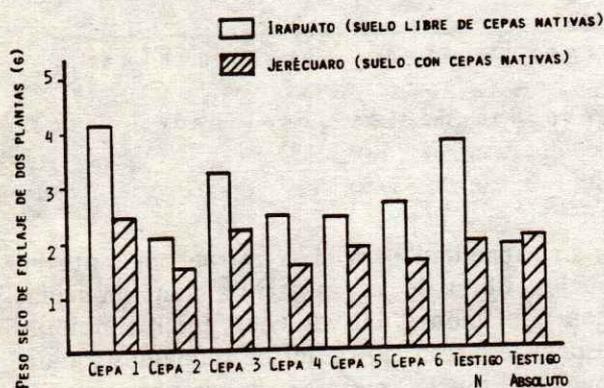


Figura 1. Efecto de la inoculación con diferentes cepas de *R. Leguminosarum* sobre el peso seco de follaje de lenteja, en condiciones de campo.

rendimiento de 1.011 ton/ha. En forma general, el incremento en el rendimiento a través de la inoculación con respecto a la no inoculación fue desde un 25% hasta un 90%, en el suelo libre de cepas nativas, este incremento en el rendimiento con la inoculación concuerda con otros autores como Sekhon *et al.* (1978), Bhattacharyya y Sengupta (1981), y Ray y Nasar (1985).

Comparando los rendimientos de grano entre los dos sitios (Cuadro 3), destacan los de Irapuato, Gto., los cuales fueron hasta cuatro veces más altos que los obtenidos en Jerécuaro, Gto.

Estas grandes diferencias nos indican la probable influencia de las cepas nativas y su ineficiencia en la fijación de nitrógeno, además la falta de preparación del terreno en Jerécuaro pudo influir grandemente en el desarrollo de la planta y por lo tanto en su rendimiento.

Cuadro 2. Eficiencia de las diferentes cepas de Rhizobium leguminosarum en lenteja en condiciones de campo.

Cepas	Eficiencia relativa (%)	
	Suelo libre de cepas nativas (Irapuato)	Suelo con cepas nativas (Jerécuaro) <sup>1)</sup>
<u>R. leguminosarum</u> cepa 1	96	32
<u>R. leguminosarum</u> cepa 2	92	26
<u>R. leguminosarum</u> cepa 3	96	35
<u>R. leguminosarum</u> cepa 4	31	36
<u>R. leguminosarum</u> cepa 5	63	16
<u>R. leguminosarum</u> cepa 6	92	36

1) Eficiencia relativa del conjunto de cepas nativas que nodularon a las plantas, incluyendo la inoculada.

Cuadro 3. Efecto de la inoculación con diferentes cepas de R. leguminosarum sobre el rendimiento de grano de lenteja.

Tratamiento	Suelo libre de cepas nativas (Irapuato) (ton/ha)	Suelo con cepas nativas (Jerécuaro) (ton/ha)
<u>R. leguminosarum</u> cepa 1	1.41 a <sub>1</sub>	0.28 a
<u>R. leguminosarum</u> cepa 2	0.96 bc	0.26 a
<u>R. leguminosarum</u> cepa 3	1.18 ab	0.20 a
<u>R. leguminosarum</u> cepa 4	0.89 bc	0.19 a
<u>R. leguminosarum</u> cepa 5	0.95 bc	0.26 a
<u>R. leguminosarum</u> cepa 6	1.08 b	0.28 a
Testigo N	1.01 b	0.35 a
Testigo absoluto	0.76 c	0.29 a

\* Valores seguidos con la misma letra son iguales estadísticamente (Tukey 0.05)

\*\* La separación de medias es para cada una de las localidades.

En el presente estudio se ilustra el papel limitante que desempeña la competencia entre cepas de Rhizobium en la expresión agronómica de la inoculación de leguminosas.

### CONCLUSIONES

Los resultados aquí reportados indican diferencias entre las cepas probadas en cuanto

a su capacidad para fijar nitrógeno, tanto en suelos libres de cepas nativas como en suelos con poblaciones nativas del microsimbionte específico. Con lo anterior podemos asumir que se puede mejorar la respuesta a la inoculación en suelos con cepas nativas, a través del uso de cepas más eficientes y sobre todo que sean capaces de competir por los sitios de nodulación con la población nativa.

Por otra parte, la lenteja destaca como un cultivo atractivo para aquellas regiones con suelos pobres y con deficiencia de agua donde ninguna otra leguminosa o casi ningún otro cultivo puede ser cultivado, además de que puede competir con gramíneas cultivadas en invierno, considerando que su ciclo vegetativo es más corto por lo cual puede resultar económicamente más redituable. No obstante, es necesario mejorar las prácticas de cultivo.

#### LITERATURA CITADA

- BHATTACHARYYA, P. y K. SENGUPTA.** 1981. Effect of seed inoculation with Rhizobium on grain yield of lentil (Lens esculenta). *Indian Biologist* 14(1): 31-35.
- EL-SARRAG, G. y N.A. HUSSEIN.** 1983. A review of research on lentil (Lens culinaris) in the Sudan. In: International Center for Agricultural Research in the Dry Areas (INCARDA) (ed.) Lentil (Lens culinaris M.). 10 (1): 7
- MILLER, R.W. y J.C. SIROIS.** 1981. Relative efficacy of different alfalfa cultivar-(Rhizobium meliloti) strain combinations for symbiotic nitrogen fixation. *Appl. Environ. Microbiol.* 43:764-768.
- MUEHLBAUER, F.J., J.I. CUBERO y R.J. SUMMERFIELD.** 1985. Lentil (Lens culinaris Medic.), pp. 266-311. In: Summerfield, R.J. y E.H. Roberts. (ed.), Grain legume crops. Collins, Great Britain.
- RAY, R. y S.K.T. NASAR.** 1985. Interactions between Rhizobium strains and lentil (Lens culinaris) genotypes under salt stress. *J. Agric. Sci.* 104(1):199-205.
- SAXENA, M.C. y G.K. RANA.** 1977. Some recent development in the understanding and improvement of cicer and lens (ed.) G.C.H. - H.B.S. - M.C.S. Aleppo, Siria, pp. 35 - 40.
- SEKHON, H.S., J.N. KAUL, B.S. DAHIYA.** 1978. Response of lentil to Rhizobium inoculation and N fertilizer. *J. Agric. Sci. Camb.* 90:325-27.

# INFLUENCIA DE DOS SISTEMAS DE LABRANZA EN LA ROTACION TRIGO-SOYA EN EL NORTE DE SINALOA

Influence Of Two Tillages In Wheat-Soybean Rotation In Northern Sinaloa

J. Luis Mendoza R. y Raymundo Acosta S.

CIFAP-SIN-INIFAP, Apartado Postal 342, 81200 Los Mochis, Sin.

## RESUMEN

En el norte de Sinaloa se evaluaron durante seis años los sistemas de labranza convencional y mínima en la rotación trigo-soya, con el objetivo de bajar costos de producción y al mismo tiempo, disminuir el problema de desfasamiento de siembra en soya, lo cual es provocado por el poco tiempo disponible entre la cosecha de trigo y siembra de soya. Con labranza mínima se elimina el barbecho, rastreos y empareje que se dan en trigo, y rastreos y empareje que se realizan en soya en forma tradicional.

Los resultados obtenidos indican que al utilizar labranza mínima en trigo y soya, es posible obtener rendimientos comparables a los obtenidos con labranza convencional, con lo cual es posible obtener mayores utilidades económicas y, a la vez, ganar tiempo para establecer el cultivo de soya en fecha adecuada.

Palabras clave: Labranza mínima, Trigo, Soya, Análisis económico.

## SUMMARY

Conventional soil preparation and minimum tillage for the wheat-soybean rotation were compared for a period of six years in northern Sinaloa. The purpose of this study was to reduce production costs and to ensure proper timing of the soybean planting date. Minimum tillage in wheat eliminates plowing, harrowing and levelling and in soybeans eliminates harrowing and levelling as compared to the conventional soil preparation.

Results show that both treatments resulted in no yield difference for either crop; so, minimum tillage increases grower's net returns and ensures that an optimum date is established for soybean planting to obtain maximum yields.

Index words: Minimum tillage, Wheat, Soybean, Economic analysis.

## INTRODUCCION

La secuencia de cultivos trigo-soya en un año agrícola es la más común en el norte de Sinaloa. Trigo se siembra en invierno y soya en verano. Algunas de las preferencias de los agricultores por esta rotación, se deben a que son dos

cultivos completamente mecanizados, a que posiblemente presentan menor riesgo de producción y a que son fácilmente comercializables.

Un problema para el establecimiento de la rotación trigo-soya lo constituye el poco tiempo que hay entre la cosecha de trigo y la siembra de soya, lo cual origina que anualmente se siembra el 30% de la superficie en época tardía o extemporánea. Esto trae varias consecuencias como son: menores rendimientos, problemas para el control de malezas, mayor incidencia de plagas y altos riesgos en época de cosecha por efecto de perturbaciones meteorológicas.

Para tratar de disminuir los problemas antes señalados, en 1980 se inició un estudio para ver la factibilidad de utilizar un sistema de labranza reducida que permitiera ahorrar tiempo y además dinero sin reducir rendimiento de grano en los cultivos trigo y soya, el cual se dio por concluido en 1986.

El uso de labranza mínima y de conservación, se ha aumentado en la producción de cultivos y se espera que en el futuro se incremente mucho más por una serie de ventajas, como es el control de la erosión, ahorro en combustible, rendimientos comparables, menos pérdidas de elementos nutritivos, ahorro de tiempo, menos compactación y conservación de la humedad (Hargrove *et al.*, 1982).

Ashby y De Jong (1982) señalaron que la implementación de un sistema de labranza en una región, debe considerar el manejo de otras prácticas, para que los agricultores adopten esa tecnología en forma rápida.

De la misma manera, Figueroa (1983) señaló que "para que un sistema de labranza sea aceptable, se deben identificar sus componentes tecnológicos, a fin de combinarlos cuidadosamente para que se adapten al ambiente productivo prevaleciente".

Lal y Vleeshauer (1982) evaluaron la aplicación de diferentes niveles de nitrógeno

y fósforo en dos tratamientos que fueron cero labranza y labranza convencional. En una de sus conclusiones señalaron que la cero labranza es preferible a la convencional para el tipo de suelo que manejaron (Alfisol), porque encontraron mejores condiciones de fertilidad, contenido de materia orgánica, etc.

Principi (1980) estudió tres sistemas de labranza (cero, mínima y convencional) en dos épocas, no encontrando diferencias significativas en producción ni en población de plantas en el cultivo de sorgo para grano, concluyendo que tanto labranza mínima como labranza cero pueden utilizarse en Argentina.

Otros estudios como el de Salinas (1984) en sorgo, Santos (1984) en frijol y Celada *et al.* (1984) en maíz, señalaron ventajas al utilizar sistemas de labranza mínima y labranza cero.

## MATERIALES Y METODOS

El estudio se realizó en terrenos del Campo Experimental Valle del Fuerte, en un vertisol plano, profundo y con las características físico-químicas siguientes, determinadas en 1985: arena 17%, limo 14%, arcilla 69%, pH 7.25, materia orgánica 1.17%, N-NO<sub>3</sub> 84 ppm, fósforo, potasio, calcio y magnesio asimilables en 16,600, 7,800 y 1,150 ppm, respectivamente, conductividad eléctrica 1.5 mmho/cm.

Durante el proceso de investigación se probaron cuatro sistemas de labranza, en este reporte se hará referencia únicamente a los sistemas de labranza convencional y mínima, ya que estos se llevaron a cabo desde el inicio hasta el final de la investigación.

### Labranza Convencional.

Se refiere a la labranza que realizan los agricultores en la región para trigo y soya. En invierno para sembrar trigo se realiza un barbecho de 25 a 30 cm de profundidad, dos rastreos, empareje (con tablón o Land plane), posteriormente se procede a sembrar en seco,

se efectúa el surcado así como la canalización y finalmente se da el riego de germinación.

En verano para la siembra de soya, primeramente se quema la paja de trigo, se efectúan dos rastreos a 20 cm de profundidad, empareje, se hace surcado a 70 cm y canalización, se efectúa riego de presiembra, luego que el terreno está a capacidad de campo se da un cultivo (escarificación) y se procede a sembrar inmediatamente.

### Labranza Mínima.

En invierno para sembrar trigo se revive la marca o surcado del cultivo anterior (soya), se siembra en seco a doble hilera y se procede a dar el riego de germinación. En este caso, se eliminan los dos rastreos y el empareje que se hacen en forma tradicional para sembrar soya.

De acuerdo a lo anterior, labranza mínima se utilizó en forma consecutiva en trigo y soya con este sistema.

En forma adicional, se estudió la fertilización nitrogenada en trigo a partir de 1982 en dosis de 0, 75, 150 y 225 kg de N/ha. No se fertilizó soya.

Cada tratamiento de labranza ocupó una franja de 100 x 33 m. Los tratamientos de fertilización en trigo se aplicaron subdividiendo la superficie de los tratamientos de labranza en cuatro partes iguales.

Los tratamientos de labranza y fertilización en trigo se aplicaron en la misma parcela y durante el proceso en que se efectuó la investigación.

En virtud de considerarse el presente trabajo como de investigación aplicada, únicamente se cuantificó población de plantas, altura final y rendimiento de grano en ambos cultivos, anotándose además en trigo el número de espigas por metro cuadrado.

Con la variable rendimiento de grano, en cada cultivo se hizo una comparación de los

sistemas de labranza en cada ciclo agrícola, así como un análisis económico, mediante la obtención de la relación beneficio/costo (B/C) para cada año.

Para realizar el análisis económico, se determinaron los costos de producción de soya en el ciclo primavera-verano 1987-87; y de trigo en el ciclo otoño-invierno 1987-88. Estos aparecen en el Cuadro 1 con los sistemas de labranza convencional y mínima.

El valor de un kilogramo de soya menos el costo de transporte en 1987 fue de \$400.00 y el de trigo \$310.60 en 1988.

## RESULTADOS Y DISCUSION

Los rendimientos medios de grano de trigo, una prueba de "t" con la variable rendimiento y la relación beneficio/costos (B/C) para dos sistemas de labranza en cada año aparece en el Cuadro 2 y para soya en el Cuadro 3.

En cuanto a trigo, se encontró que en ningún ciclo agrícola se detectaron diferencias significativas con la variable rendimiento de grano entre los sistemas de labranza convencional y mínima.

Cuadro 1. Costos de producción en \$/ha para soya (1987-87) y trigo (1987-88) en dos sistemas de labranza en el Valle del Fuerte, Sin.

Concepto	S o y a		T r i g o	
	LC <sup>1)</sup>	LM <sup>2)</sup>	LC	LM
Costos de preparación del terreno	50,300	22,800	91,500	17,800
Costos fijos	236,003	236,003	527,574	527,574
Interés bancario	84,106	74,481	144,469	124,489
Seguro agrícola	97,016	97,016	80,872	80,872
Costo total	467,425	430,300	844,415	750,435

1) LC = labranza convencional

2) LM = labranza mínima

Cuadro 2. Evaluación de dos sistemas de labranza en trigo. CAEVAF-1987.

Ciclo agrícola	Sistema de labranza	Rendimiento medio ton/ha	Diferencia de rend. ton/ha	Estadístico t	Relación B/C
1980-81	Mínima	3.482	0.105	0.371 NS	1.44
	Convencional	3.587			1.32
1981-82	Mínima	5.276	0.570	0.666 NS	2.18
	Convencional	4.706			1.73
1982-83	Mínima	4.066	0.019	0.028 NS	1.68
	Convencional	4.047			1.49
1983-84	Mínima	3.809	0.750	0.965 NS	1.57
	Convencional	4.559			1.67
1984-85	Mínima	5.840	0.137	0.608 NS	2.41
	Convencional	5.703			2.09
1985-86	Mínima	5.508	0.438	0.815 NS	2.28
	Convencional	5.070			1.86
Media general	Mínima	4.664			1.93
	Convencional	4.612			1.69

NS: No significativo al 5% de probabilidad.

En la base del Cuadro 2, puede apreciarse que las medias de rendimiento de seis años con los sistemas de labranza evaluados, son muy similares, lo cual indica que con labranza mínima en trigo es posible obtener rendimientos comparables a los obtenidos con labranza tradicional.

Basándose en los costos de producción del Cuadro 1 y el valor del producto, se determinó la relación B/C para trigo que aparece al final del Cuadro 2, donde se nota que en cinco de seis años la relación B/C es mayor en labranza mínima, siendo esta relación en promedio 1.93 y 1.69 para labranza mínima y convencional, respectivamente. Estos resultados evidencian que la utilización de un sistema de labranza reducida puede traducirse en la obtención de mayores utilidades.

Los resultados obtenidos en soya en los primeros cinco años indican que los rendimientos son estadísticamente iguales,

según la prueba de "t" realizada en los sistemas de labranza, lo cual indica que labranza mínima produce rendimientos similares, aun cuando se practique en forma consecutiva en trigo y soya como en este caso. Sólo en 1986 se observó menor rendimiento en labranza mínima. En promedio la relación B/C obtenida con labranza mínima es mayor a la obtenida con labranza convencional, tal como se aprecia en la última columna del Cuadro 3.

Para dar una idea más objetiva del ahorro en inversión con labranza mínima, en los Cuadros 4 y 5 se presentan las labores de preparación del terreno con su respectivo costo en los cultivos soya y trigo, respectivamente. Nótese que al utilizar labranza mínima en soya se eliminan dos rastreos y el empareje, los cuales suman un valor de \$27,500.00, mismos que representan el 45.3% del costo con labranza convencional.

Cuadro 3. Evaluación de dos sistemas de labranza en soya. CAEVAF-1987.

Ciclo agrícola	Sistemas de labranza	Rendimiento medio ton/ha	Diferencia de rend. ton/ha	Estadístico t	Relación B/C
1981-81	Mínima	2.904	0.265	1.406 NS	2.70
	Convencional	3.169			2.71
1982-82	Mínima	3.152	0.104	0.108 NS	2.94
	Convencional	3.256			2.79
1983-83	Mínima	2.953	0.094	1.328 NS	2.75
	Convencional	3.047			2.61
1984-84	Mínima	2.210	0.131	0.359 NS	2.05
	Convencional	2.241			1.92
1985-85	Mínima	2.934	0.151	2.019 NS	2.73
	Convencional	3.085			2.64
1986-86	Mínima	2.709	0.335	2.718 *	2.52
	Convencional	3.044			2.60
Media general	Mínima	2.810			2.62
	Convencional	2.973			2.55

NS = No significativo al 5% de probabilidad

\* = Significativo al 5% de probabilidad

Cuadro 4. Labores de preparación del terreno y costo (\$/ha) en dos sistemas de labranza para soya, en 1987-87.

Labor	Labranza	
	Convencional	Mínima
Rastreos (2)	21,200	-
Empareje	6,300	-
Surcado	6,300	6,300
Canalización	5,400	5,400
Tumba de bordos y canales	3,000	3,000
Escarificación	8,100	8,100
Total	50,300	\$ 22,800
% Relativo	100	45.3

Al utilizar labranza mínima de trigo se eliminan el barbecho, dos rastreos y el empareje, mismos que suman \$74,000.00, con lo cual al utilizar labranza mínima hay un ahorro del 80.9%.

Además del ahorro en economía, al utilizar labranza mínima se gana en tiempo y más aun cuando el productor no dispone de su propia maquinaria, el cual es el caso de la mayoría de agricultores en el norte de Sinaloa.

Cuadro 5. Labores de preparación del terreno y costo (\$/ha) en dos sistemas de labranza para trigo en 1987-88.

Labor	Labranza	
	Convencional	Mínima
Barbecho	32,800	-
Rastreos (2)	31,800	-
Empareje (tabloneo)	9,400	-
Surcado	9,400	9,400
Bordeo y canalización	8,100	8,100
Total	\$ 91,500	\$ 17,500
% Relativo	100	19.1

Para evaluar el efecto de la fertilización nitrogenada en trigo en los dos sistemas de labranza, a partir de 1982-83 se aplicaron los niveles 0, 75, 150 y 225 kg de N/ha. Los rendimientos medios para cuatro ciclos agrícolas y el rendimiento promedio general por tratamiento de fertilización y sistema de labranza aparece en el Cuadro 6.

Un análisis de varianza con los datos del Cuadro 6 indicó que hay diferencias altamente significativas entre años y en cuanto al efecto

Cuadro 6. Rendimiento de trigo en diferentes años con cuatro dosis de nitrógeno en dos sistemas de labranza. CAEVAF-1987.

Sistema de labranza	Fertilización	Ciclo agrícola				Rend. Prom. ton/ha
		1982-83	1983-84	1984-85	1985-86	
Mínima	0-60-0	2.758	2.800	2.549	4.198	3.076
	75-60-0	4.185	3.797	3.003	5.063	4.012
	150-60-0	3.705	4.150	4.175	5.208	4.309
	225-60-0	4.066	3.809	5.840	5.508	4.805
	Promedio	3.678	3.639	3.891	4.981	4.050
Convencional	0-60-0	2.960	3.101	2.793	3.240	3.023
	75-60-0	4.312	4.149	4.123	4.418	4.250
	150-60-0	3.628	4.436	5.096	4.967	4.531
	225-60-0	4.047	4.559	5.703	5.070	4.844
	Promedio	3.736	4.061	4.428	4.423	4.106

del nitrógeno en el rendimiento, no encontrando significancia para labranza, ni para la interacción labranza-nitrógeno.

En la Figura 1, puede apreciarse el efecto promedio de la fertilización nitrogenada en el rendimiento de trigo con los sistemas de labranza, observándose que hay similitud en el tipo de respuesta, lo cual indica que el aprovechamiento del fertilizante nitrogenado es similar con labranza convencional y mínima.

Algunas características agronómicas tomadas en trigo y soya se presentan en el Cuadro 7, donde puede apreciarse que en promedio los valores de espigas por metro cuadrado en trigo, plantas por metro y altura final en trigo y soya resultaron en cantidades similares, con ligera tendencia a ser mayores en labranza convencional.

Una desventaja al utilizar labranza mínima en forma consecutiva en trigo y soya lo puede representar la alta proliferación de malezas, si no se tiene el debido control al respecto. En 1985, posterior a la cosecha de soya, se hizo un muestreo para cuantificar la maleza que

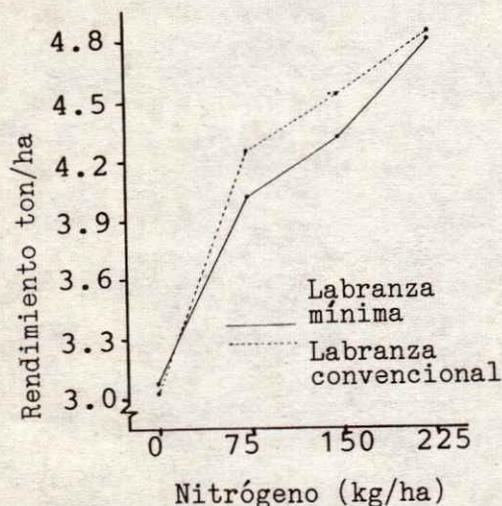


Figura 1. Efecto promedio de la fertilización (cuatro ciclos) sobre el rendimiento de trigo en dos sistemas de labranza. CAEVAF-1987.

Cuadro 7. Características agronómicas de trigo y soya en dos sistemas de labranza.<sup>1)</sup>

Sistema de Labranza	Trigo			Soya	
	Esp.	Planta	Alt	Planta	Alt
	m <sup>2</sup>	m <sup>2</sup>	cm	m <sup>2</sup>	cm
Mínima	306	134	94	33	69
Convencional	317	157	94	35	72

1) Datos promedio de seis ciclos agrícolas.

había quedado, tomando cinco muestras por tratamiento al azar. En labranza convencional el peso fresco de maleza fue de 1018 kg/ha, mientras que en labranza mínima fue de 5822 kg/ha. Esta diferencia debe considerarse, tomando en cuenta que a partir de 1980-81 no se removió el suelo en labranza mínima.

## CONCLUSIONES

1. Resultados de seis años de estudio indican que con labranza mínima en trigo y soya, pueden obtenerse rendimientos comparables.
2. Al eliminarse varias labores en labranza mínima es posible disminuir costos de producción y tener un ahorro de tiempo considerable, ayudando a resolver el problema de desposamiento de fecha de siembra en soya en el norte de Sinaloa.
3. La respuesta del trigo a la fertilización nitrogenada es similar en labranza convencional y mínima.

## LITERATURA CITADA

ASHBY, J.A. y G. DE JONG. 1982. Farmer field preparation and tillage practices. Implications for fertilizer technology research. Soil Tillage Res. 2: 331-346.

**CELADA T., E., M. ARMITAGE y D. FLORES R.** 1984. Respuesta del cultivo de maíz a diferentes prácticas de manejo en andosoles del norte del estado de Morelos. *Terra* 2-1: 93-100.

**FIGUEROA S., B.** 1983. La investigación en labranza en México. *Terra* 1-2: 37-43.

**HARGROVE, W.L., J.T. RIED, J.T. TOUCHTON y R.N. GALLAHER.** 1982. Influence of tillage practices on the fertility status of an acid soil Double-Cropped wheat and soybean. *Agronomy Journal* 74: 684-687.

**LAL, R. y D. VLEESHAUWER.** 1982. Influence of tillage methods and fertilizer application on chemical properties of worm casting in a tropical soil. *Soil Tillage Res.* 2: 37-52.

**PRINCIPI, M.A.** 1980. Sistemas de labranzas y siembra en el cultivo de sorgo granífero, compatibles con la conservación del suelo. *An. INIA/Ser. Agric./N.13.*

**SALINAS G., J.R.** 1984. Efecto de siete métodos de labranza sobre algunas propiedades físicas del suelo y su relación con el rendimiento de sorgo (*Sorghum bicolor* L. MOENCH) bajo condiciones de temporal en la región de Corpus Christi, Texas. *Terra* 2-2:113-119.

**SANTOS E., J.** 1984. Efecto de dos niveles de labranza en producción de frijol, bajo temporal en Zacatecas. *Terra* 2-1: 85-92.

# SISTEMA DE DRENAJE SUPERFICIAL Y SUS POSIBILIDADES DE IMPLEMENTACION EN SUELOS ARCILLOSOS DE QUINTANA ROO

A Superficial Drainage System and its Feasibility on Clay Soils from Quintana Roo, Mexico.

Octavio Pérez-Zamora.

CAE. Tecomán. CIFAP-COLIMA

## RESUMEN

Un sistema de drenaje superficial (tipo cama melonera) que permite hacer un uso más eficiente de los recursos suelo-agua del estado de Quintana Roo, fue derivado después de cuatro años de estudio bajo condiciones climáticas altamente variables. El sistema de drenaje superficial consiste de camas elevadas (meloneras) de 1.7 m de ancho y 0.25 m de alto, que se trazan con borderos; cuya longitud está determinada por la microtopografía del terreno. Las camas permitieron acomodar dos hileras de maíz o soya en primavera-verano y dos hileras de sorgo, girasol o maíz en el ciclo de otoño-invierno.

Los resultados mostraron que mediante la utilización de camas elevadas o meloneras fue posible incrementar el índice de productividad actual de los suelos arcillosos del 30% al 61%. La producción media para el período de cuatro años en soya fue de 1.70 y de 1.74 ton/ha para maíz; sin embargo, la producción media de maíz fue de 2.55 ton/ha durante los dos últimos años. El sistema de camas meloneras mostró factibilidad operacional, económica y social, y además

podría contribuir a ampliar la frontera agrícola al incorporar a la producción áreas que actualmente son subutilizadas debido al alto riesgo de siniestro por sequía e inundación estacional.

Palabras clave: Drenaje superficial, Camas elevadas, Ciclo primavera-verano, Ciclo otoño-invierno, Índice de productividad.

## SUMMARY

A drainage system consisting of a broad bed 1.70 m wide and 0.25 m high was evaluated in flat heavy clay soil for four years in Quintana Roo, Mexico. Broad beds improved the physical condition of the soil and allowed maize and soy bean roots to grow 50 and 35 cm long, respectively; in contrast the roots of maize and soybeans grown on flat lands were 25 and 15 cm long. Yields after four years were 1.70 ton/ha for soy beans and 1.74 for maize. On flat lands, without broad beds, no soybean yields were obtained and only 300 to 350 kg/ha of maize were obtained. However, for the last two years maize yielded 2.55 ton/ha when it was planted in broad beds. The broad bed system offers alternatives for bringing additional land under cultivation.

Recibido 6-88.

Index words: Broad beds, Spring-summer growing stage, Fall-winter growing stage, Productivity index.

## INTRODUCCION

El exceso de agua, condiciones de saturación e inundación por algún periodo del ciclo de las plantas es crítico en gleysoles, vertisoles y algunos suelos con características vérticas. La causa principal de lo anterior es su alto contenido de arcilla, topografía plana, su alto grado de compactación y su baja conductividad hidráulica que da lugar a anegamiento y suelo superficial delgado; esto tiene efecto en la penetración y exploración del sistema radicular, crecimiento y desarrollo de éste, así como dificultades en la preparación del suelo, siembra, labores y cosecha de los cultivos.

En Quintana Roo y Campeche los suelos en cuestión se utilizan para cultivos anuales, como arroz en el ciclo de primavera-verano. Sin embargo, la productividad de este sistema de producción altamente mecanizado, por debajo de lo esperado, se asocia con: bajas densidades de población, exceso o carencia de agua durante la temporada de lluvias, alta incidencia de maleza, formación de pisos de arado, pérdida de la materia orgánica y dificultades de preparación del terreno durante el ciclo de otoño-invierno.

El objetivo primario del estudio fue evitar la subutilización del terreno mediante la utilización de camas elevadas o meloneras, como alternativa de aprovechamiento de suelos de drenaje pobre, planos e inundables, y con el propósito de producir cultivos, tanto básicos como oleaginosos, durante el ciclo de primavera-verano, así como en el ciclo de otoño-invierno.

## REVISION DE LITERATURA

Pérez (1985a) menciona que no existe un sistema de cultivo único de suelos vertisoles que sea universalmente aplicable en áreas con

precipitación media a alta (750-1200 mm/año). Las experiencias más notables se registran en áreas con baja (<750 mm/año) y errática precipitación, según reportan Pérez (1983), Krantz (1980) y Virmani *et al.* (1982).

Las bases de la aproximación del "International Crops Research Institute for the Semiarid Tropics" (ICRISAT), de Hyderabad, India, desarrolladas por Krantz (1980), para vertisoles localizados en áreas con precipitación menor a los 750 mm, es un sistema semipermanente de camas y surcos, que son dispuestos en el terreno con una pendiente graduada (usualmente de 0.4 a 0.8%). Cada cama (de aproximadamente 1.0 m de ancho) está ligeramente elevada, actuando como un bordo *in situ* para una buena conservación de agua y control de erosión. El surco (aproximadamente 50 cm de ancho) es poco profundo (15 a 20 cm), que provee una buena superficie de drenaje y evita la inundación de los cultivos que se desarrollan en la cama. El exceso de agua es guiado fuera a través de un sistema de drenes y canales empastados.

Los pasos esenciales, según reporta Krantz (1980), para localizar un sistema de camas meloneras son: (1) Un levantamiento altimétrico para definir los detalles topográficos locales y definir la disposición de drenes superficiales; la dirección de camas y surcos es marcada en relación a esos drenes. (2) Algo de empareje de la tierra es usualmente necesario para remover pequeñas depresiones y puntos altos; este empareje puede hacerse a bajo costo y con mucho menor movimiento de tierra superficial que un terracedo u otra forma de nivelación del suelo. (3) Los drenes, necesarios para disponer de una manera segura el exceso de agua, son entonces preparados y las camas finalmente formadas.

Una característica adicional del sistema de camas y surcos, es que el agua de escurrimiento puede ser cosechada en un tanque colector, y ser utilizada luego (Krantz, 1980; Pérez, 1985b) como suplemento de irrigación.

Pérez (1983) adaptó un sistema específico a la región de Quintana Roo en función del ambiente local climático, biológico y socioeconómico. El mismo investigador observó que el mérito de la aproximación ICRISAT es el de enfatizar los principios básicos de un sistema adaptable que puede servir de base, de la cual otros sistemas pueden ser desarrollados para áreas específicas, de acuerdo a las circunstancias físicas, sociales y económicas de la región.

### MATERIALES Y METODOS

El presente trabajo se llevó a cabo durante el periodo de 1983 a 1986 en terrenos del ejido Juan Sarabia, Q.Roo, donde se localizó y aisló una microcuenca de 10 ha (Figura 1). En dicha microcuenca un experimento a escala operacional (superficie equivalente a validación de tecnología) fue utilizado para evaluar las camas meloneras.

#### Características del Suelo.

El suelo referido en este estudio es un Haplaquept vértico (Gleysol vértico, FAO/UNESCO), y es miembro de la familia fina, montmorillonítica, isohipertérmica; el rango en la pendiente del terreno es de 0.2 a 2.0%. Los contenidos de bases incluyendo Ca, Mg y K son altos; 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, 1985a). El contenido de carbono orgánico es de 0.25%. Las características de un perfil típico se muestran en el Cuadro 1. Descripciones adicionales del suelo en estudio fueron presentadas por Pérez (1984) y Nava (1986).

En Q. Roo el agua disponible para la planta durante el temporal depende del número de recargas del perfil de suelo, y la exploración del sistema radicular; así como por la presencia de un horizonte gleysado localizado a 15-20 cm de la superficie del suelo.

#### Construcción de las Camas Meloneras.

El establecimiento se hizo conforme a lo reportado en la literatura: levantamiento altimétrico detallado, identificación de escorrentías naturales en el plano y en el terreno. Los movimientos de tierra se efectuaron durante los meses de marzo a abril, y consistieron de barbecho, dos pasos de rastra y construcción de camas permanentes (Figura 2) mediante la utilización de borderos; el volumen de tierra removido fue de aproximadamente 400 m<sup>3</sup> por hectárea. En el ciclo de primavera-verano se establecieron cultivos de maíz y soya, y en el otoño-invierno, después de cosechar el maíz, se sembraron dos hileras de girasol, sorgo, maíz y frijol en cada cama.

#### Establecimiento de Cultivos.

Durante los ciclos de primavera-verano la distancia entre hileras fue de 75 cm para maíz y soya; los materiales usados fueron el híbrido H-507 y la variedad Júpiter, respectivamente. La fertilización fue de 40-100 en maíz y 60-90 en soya. Las plagas que afectaron a este último cultivo fueron el gusano soldado (*Spodoptera exigua* Hubner) y la chinche verde (*Nezara viridula*), las cuales se controlaron con Lorsban 480 y Nuvacrón, respectivamente; en maíz la principal plaga fue

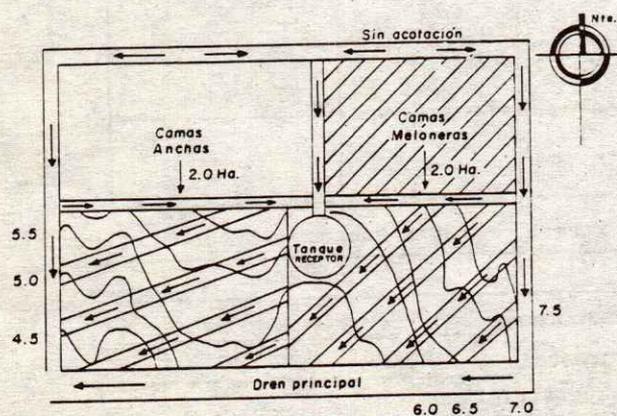


Figura 1. Disposición de camas anchas (4 m) y meloneras en el terreno Juan Sarabia.

Cuadro 1. Descripción del suelo utilizado en el estudio.

Tipo Suelo Ak'Alché., Haplaquept Vértico o Gleysol Vértico.  
 Localidad CAECHET Km.25 Carr.Chetumal-Mérida.  
 Fisiografía Cuenca  
 Elevación 50 m. pendiente 0.6-0.8 % aspecto -- Erosión poca  
 Manto freático No apreciable. Drenaje 1 Muy pobre. Alcalinidad --  
 Modo de Formación Secundario Material Parental Sedimento calizo.  
 Clima AW2 P: 1200; TMA: 26° C.  
 Vegetación nativa Palo de tinte, Chechén negro y Blanco Zapote.  
 Perfil Grupo I Categorías superiores Chromudert Aquéntico  
 Series de suelos genéticamente relacionados Yaax-hom; Ak'alché; Luvisol Gleyco.

PERFIL PROF. CM.	COLOR	TEXTURA	ESTRUC TURA.	CONSISTEN CIA.	REACCIÓN	MISC: Raíces, po ros, película de arcilla, concre ciones.
0 Ap	10 YR 3/1	Arcilla 60% R	1 sbkf	d, f, p, pl.	No reac. HCl 7.74	Abundantes y fi nas, escasos y fi nos, cutanes con res.Fe.Munic.
18 Clg	10 YR 7/2	Arcilla 60% R	2 sbkg Am	md, f, p, pl.	No reac. HCl 7.10	No raíces, no po ros, Cut.Cont.Conc. Mn.CaCO3 Reac. HCl intrusiones.
75 C2g	10 YR 7/2	Arcillo Limoso 40% R	Muy débil	fr, lp, pl.	No reac.HCl 7.78	No raíces, no po ros, conc.ab CaCO3 fuerte reac.HCl. Cutanes Abund. y Cont.
150 caliza	CONTACTO PARALITICO				Fuerte reac. HCl 8.6	--

Capacidad de uso del suelo Prof. x Text x Drenaje x Fert. = 30 % Pobre.Uso actual ArrozCultivos irrigados Bueno Pastoreo BuenoCultivos Temporal Arroz, girasol, sorgo, caña. Forestal MaloManejo Suelos Drenar agua estacional con drenaje superficial.

OBSERVACIONES: DAP = 1.7 g/cm<sup>3</sup>.

1	2	3
54	55	50
30	28	28

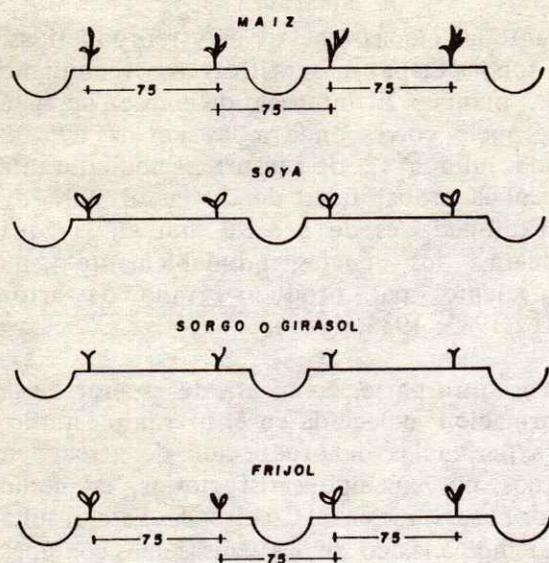


Figura 2. Acomodo de cultivos sobre el sistema de camas meloneras. J. Sarabia, Q.Roo. 1983 a 1986.

el 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.

En el ciclo de otoño-invierno, después de cosechar el maíz, se dio un paso de rastra ligera para incorporar rastrojo y aflojar el bordo de la cama, a continuación se sembró frijol, maíz, girasol y sorgo. Los materiales utilizados fueron Negro Huasteco, H-507, IS7775 y BJ-83 para los cultivos indicados con anterioridad. La dosis de fertilización fue de 30-40, 40-60 y 40-50 para frijol, girasol y sorgo, respectivamente; las plagas que se presentaron en frijol fueron diabrótica y mosquita blanca (*Trialeurodes* sp.), las cuales se controlaron con Nuvacrón y Lorsban. En el caso de girasol, sólo en un ciclo se presentó barrenador del capítulo (*Homeosoma ellectellum* Hulst), el cual se controló con Lorsban; en sorgo también se utilizó Lorsban para el control de la mosquita midge. En cuanto

a sorgo y maíz se utilizó Gesaprim Combi para el control de zacates, mientras que para girasol y frijol no se utilizó ningún producto y sólo se hizo un deshierbe manual.

#### Muestreo de Humedad.

Durante ambos ciclos, primavera-verano y otoño-invierno, se monitoreó el contenido de humedad en el lomo y surco de la cama; el método utilizado fue el gavimétrico. Los muestreos fueron a intervalos semanales y a profundidades de 15, 30, 45 y 60 cm. También se registraron los datos de precipitación, evaporación, temperaturas máximas y mínimas diarias en el sitio, y se estimaron los balances hídricos semanales utilizando la ecuación de balance de masas o de continuidad: Agua Almacenada = Entradas - Salidas de Agua. Esto se estimó mediante el modelo de Keig y McAlpine (1974). En la aplicación del modelo, los registros de precipitación se agruparon a intervalos semanales, utilizando el concepto de semanas estándar. Con este conjunto de datos un modelo simple de balance de agua fue calculado considerando a la precipitación como factor de suministro y la evapotranspiración como factor de salida.

En el modelo anterior la precipitación en exceso a la capacidad de almacenamiento fue considerada como escurrimiento, y cuando el suelo estaba totalmente recargado de agua en el perfil, la evapotranspiración fue sustraída a una tasa determinada y equivalente a la evapotranspiración potencial. En esta estimación, se consideró las curvas de extracción reportadas por Denemead y Show (1962), reportados por Virmani en 1975.

Por otra parte, y sujeto a otros factores limitantes, el crecimiento se consideró iniciado una vez que la relación Evapotranspiración Actual/Evapotranspiración Potencial era mayor o igual a 0.3 ( $EA/ETP = > 0.3$ ).

Es conveniente indicar que el modelo utilizado de Keig y McAlpine (1974) no

permite la simulación de los efectos de la alta intensidad de la precipitación, parte de la cual puede escurrir, aun sin que el perfil se encuentre saturado a su máxima capacidad; esto puede causar una sobreestimación del nivel de humedad disponible.

## RESULTADOS Y DISCUSION

### Colección e Interpretación de los Registros Climáticos y Cuantificación de la Humedad Ambiental para el Desarrollo de los Cultivos.

Los análisis de los registros climáticos y su relación con las características del suelo son de gran importancia para la planeación agrícola. Por otra parte, dado que gran diversidad de patrones de distribución de la precipitación son producidos, la colección e interpretación juegan un importante papel en las decisiones agrícolas involucrando el riesgo. Un ejemplo de la aplicación de los métodos estratégicos para aproximar y estimar los recursos e interpretarlos se muestra en la Figura 3. En dicha figura se observa que es de esperar serias dificultades para la producción del cultivo del arroz (en 75% o más de los casos) en Q.Roo, ya que este cultivo carece de agua

durante las etapas vegetativas y reproductivas, que son las etapas más críticas de crecimiento de las plantas. El intervalo de escasez de agua en el suelo corresponde a las semanas 29 a 32 (16 de julio a 12 de agosto), período durante el cual la probabilidad de lluvias al 90% de probabilidad es de 8 a 90 mm en la zona arrocera, los cuales indudablemente son insuficientes para producir grano de arroz (Pérez 1983, 1984, 1985).

Por otra parte, como era de esperar de la información colectada en el presente estudio, las experiencias de producción de arroz en Q.Roo no han sido satisfactorias, tal como puede observarse en el Cuadro 2. Esto resulta un ejemplo clásico de las causas más comunes de los fracasos agrícolas en los suelos arcillosos del trópico. Con relación a esto Pérez (1984) señaló que las causas de dichos fracasos agrícolas en vertisoles y suelos con características vérticas en el trópico se asocian con: 1) desconocimiento de los factores ambientales suelo-clima; 2) condiciones socio-económicas; 3) estructuras de organización y operación inadecuadas; 4) altos costos de mecanización que no permite la amortización de la maquinaria y 5) con la alta dependencia tecnológica en la importación de bienes de capital.

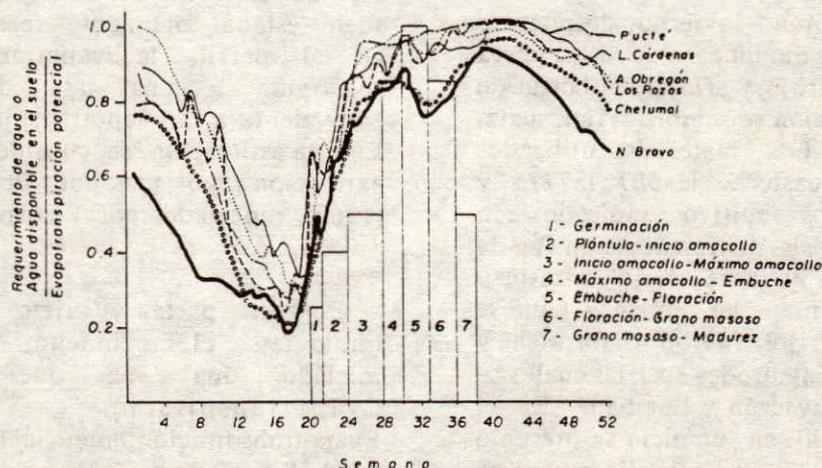


Figura 3. Requerimiento de agua ( $E_o/ETP$ ) del arroz en diferentes etapas fenológicas y agua disponible en el suelo ( $AD/ETP$ ).

Cuadro 2. Estadísticas de siniestro (ha) en el cultivo del arroz en el estado de Q.Roo.<sup>1)</sup>

Años	Superficie		Rend. ton/ha	Precipitación mm	Causas de siniestro	
	Semb.	Siniestr.				Sup/sin
	ha	%				
1980	5,765	2,431	42.5	1.6	635.1	Sequía
1981	7,250	3,146	41.0	2.4	685.5	Maleza
1982	12,867	4,423	26.0	2.3	1,432.8	Sequía
1983	14,893	4,963	33.0	2.1	1,408	Sequía
1984	9,390	4,664	50.0	2.5	1,538	Exc. Hum
1985	11,929	11,929	100.0	0.0	604	Sequía

1) Reunión convocada por ANAGSA para el análisis de la situación de siniestro en el cultivo del arroz en Q.Roo. Enero 8 de 1986.

Del análisis de la información climática y las experiencias de producción observadas en Q.Roo resulta obvio que los bajos rendimientos del cultivo del arroz se asocian con el alto riesgo involucrado en la agricultura de temporal. Este ejemplo, de alto costo para el país, nos enseña que la instauración de sistemas de producción estables en los trópicos requiere de un análisis previo de la información de los datos base, suelo y clima, antes de involucrarse en la iniciación de cualquier proyecto de producción regional o nacional de importancia; estas experiencias como ésta deben ser consideradas no sólo por los encargados de planeación, sino también por los centros académicos encargados de producir expertos en planeación, los programas de investigación y enseñanza, entre otros.

### Manejo del Suelo y del Agua.

Los componentes esenciales de la tecnología requerida en los suelos arcillosos sobre prácticas de manejo del suelo y sistemas de cultivo son abordados a través de métodos de manejo del suelo y agua que hagan más eficientes el uso de estos recursos.

En condiciones climáticas altamente variables (Cuadro 3) los resultados obtenidos para maíz y soya en el ciclo de primavera-verano se muestran en el Cuadro 4. La información obtenida durante el otoño-invierno sólo será mencionada brevemente; ya que a ésta se llegó probando diferentes fechas de siembra y variedades; esto en virtud de no tener información preliminar en la región sobre cultivos desarrollándose en esta clase de suelos. En consecuencia requiere una discusión más profunda relacionada con prueba e introducción de genotipos en una área, lo cual se encuentra fuera de los propósitos del presente trabajo, que son el desarrollo de un sistema de drenaje superficial para el desalojo de excesos de agua en primavera-verano.

Del Cuadro 4 se observa que mediante la estructura de camas meloneras fue posible producir tanto en años húmedos como secos, y que soya y maíz son cultivos que presentan menor riesgo de pérdida. En suelos planos, o sea en condiciones comunes de siembra en el área, el problema principal para el arroz reside en lo errático de la precipitación durante el mes de julio-agosto (Pérez, 1985b), mientras que para soya y maíz el problema reside en los altos contenidos de humedad que se presentan durante las etapas iniciales de crecimiento (4-6 semanas), ya que en este periodo las siembras en plano se aniegan y los efectos de esto sobre el rendimiento son conocidos por todos. La construcción de camas meloneras evitó estos problemas y permitió

Cuadro 3. Precipitación mensual (mm) para el período de junio a septiembre. J. Sarabia, Q.Roo.

Mes	Año				Normal <sup>1)</sup>
	1983	1984	1985	1986	
Junio	492	156	77	100	192
Julio	316	319	238	66	164
Agosto	178	162	91	41	153
Septiembre	73	202	58	124	213
Junio-Sept.	1059	839	464	331	732

1) Media de registro de 20 años.

cosechar maíz y soya, en contraste con siembras en plano, donde sólo se puede cosechar de 200 a 300 kg/ha de maíz y nada de soya. Como resultado de estas experiencias ANAGSA no asegura siembras de maíz en plano.

Las variaciones en rendimiento del maíz y de la soya son independientes de lo errático de la precipitación que ocurre en septiembre, y a diferencia del arroz tienen menores requerimientos hídricos que este cultivo, por lo que a través de cuatro años ha sido posible producir ambos: maíz y soya. La variación en rendimiento en un trabajo a escala operacional (tamaño parcela de validación) se asocia con el manejo, operativa de producción y la disponibilidad de tecnología apropiada a las circunstancias de los productores. Un hecho importante que conviene recordar es que la tecnología utilizada en el sistema de camas meloneras correspondió a la obtenida para suelos bien drenados, en los cuales resulta más fácil establecer y asegurar las poblaciones iniciales de plantas, y en donde no se tiene problemas de anegamiento, preparación del suelo, aplicaciones de fertilizantes e insecticidas durante el crecimiento de los cultivos. Al tratar de hacer esto en suelos arcillosos los equipos se atascan y no se pueden efectuar dichas aplicaciones.

Después de cosechar el maíz de primavera-verano, durante el otoño-invierno se establecieron en camas meloneras: maíz, sorgo, girasol y frijol. Las medias de rendimiento han sido de 0.908, 0.669 y 0.522 ton/ha de sorgo, girasol y frijol, respectivamente, mientras que el maíz en otoño-invierno presentó serios problemas de emergencia, lo cual se asoció con la inadecuada cama de siembra que queda después de cosechar el cultivo de primavera-verano. Los cultivos de humedad residual no han mostrado deficiencias de humedad durante el ciclo otoño-invierno; por el contrario excesos de humedad se han presentado durante la etapa de llenado de grano del frijol.

Cuadro 4. Rendimientos de maíz y soya en el modelado de camas meloneras en suelos arcillosos de Q.Roo.

A ñ o	Soya	Maíz
	ton/ha	
1983	0.78	0.80
1984	2.19	1.07
1985	1)	2.60
1986	2.10	2.50
Media	1.69	1.74

1) No se sembró a causa de que la semilla estaba infectada con una bacteria que afectó la emergencia.

#### Adopción del Sistema de Drenaje Superficial.

Resulta de singular importancia que después de cuatro años de iniciarse el proyecto de manejo de suelos se han obtenido avances significativos; de tal manera que es inobjetable la contribución de las camas meloneras; esta contribución tecnológica ha sido comunicada en reportes, demostraciones y visitas de campo al sector agropecuario; sin embargo, a pesar de haber despertado interés en dicho sector y tener factibilidad técnica y económica, no se ha reproducido ampliamente.

En 1986 se programaron 80 y 15 ha de camas meloneras, en las localidades de Nicolás Bravo y Pimientita, respectivamente. En la primera sólo se establecieron 4 ha y sin muchos cuidados técnicos se obtuvieron 2.0 ton/ha de maíz con el híbrido H-507. Los argumentos para no establecer el resto fueron: 1) el ejido ocupó la maquinaria para la siembra de arroz, y 2) los maquiladores prefieren trazar curvas de nivel para el arroz que camas. En el segundo sitio, la razón fue que no se consiguió la maquinaria a tiempo.

Los casos anteriores reflejan otras dos de las causas de los fracasos agrícolas en suelos arcillosos: condiciones socio-económicas del productor y las estructuras de organización y operación inadecuadas que Pérez (1984) ha

señalado. En Q.Roo, ambos factores se encuentran interaccionando y resulta difícil separarlos para explicar parcialmente las primeras, tal vez esto tenga relación con el cultivo introducido: el arroz; este, no obstante tener considerables problemas de adaptación, se encuentra asegurado y con crédito, en adición a que es un cultivo altamente mecanizado, introducido por el estado y con nula o escasa participación; de los productores (Pérez, 1984). En consecuencia los productores no estarían interesados en un sistema de producción que demanda activamente su participación; producir en primavera-verano y otoño-invierno, en contraste con el sistema de producción estatal de arroz, que no demanda su intervención, y que, por otro lado, garantiza su ingreso y les permite dedicar su tiempo a otras actividades no relacionadas con el sector agrícola.

Por su parte, el sistema del maíz o la soya en camas meloneras ha sensibilizado al sector agropecuario oficial acerca de la necesidad de la sustitución o complementación del arroz en algunas áreas y ha conseguido créditos y aseguramiento y su inclusión en la POI de Banrural, lo cual es indicativo de la contribución del sistema de manejo de suelo y agua; sin embargo, se requiere más participación por parte del productor para incrementar las posibilidades de disseminación del nuevo sistema de producción desarrollado a una escala operacional y en terrenos de productores, a una escala comercial que contribuya a incrementar la producción de granos básicos y productos oleaginosos, mediante la construcción de sistemas de drenaje, que evitan la subutilización de suelos arcillosos y amplían simultáneamente la frontera agrícola.

### CONCLUSIONES

1. El sistema de drenaje superficial, camas meloneras, es una alternativa técnica y económicamente factible de ser reproducida en Quintana Roo en suelos arcillosos anegados durante el ciclo primavera-verano.

2. Los rendimientos de maíz y soya obtenidos en camas meloneras son de 1.74 y 1.70 ton/ha, respectivamente, y son considerablemente mayores que los obtenidos en terrenos planos: 0 kg/ha para soya y 300 a 350 kg/ha para maíz.

3. El sistema de drenaje superficial incrementa la eficiencia del uso de la tierra y el índice de productividad de la misma del 30 al 70%.

4. Existen dos factores extratécnicos que limitan la reproducibilidad del sistema; estos son factores socio-económicos y estructuras de organización inadecuados. Sin embargo, con la participación de las agencias encargadas del desarrollo, el nuevo sistema puede disseminarse amplia- y rápidamente.

5. Lo anterior es posible en virtud de que amplía la frontera agrícola, introduciendo al sistema de producción tierras ociosas y subutilizadas.

### LITERATURA CITADA

KEIG, G., y McALPINE, J.R. 1974. WATBALL: A computer system for the estimation and analysis of soil moisture regimes from simple climatic data. Second Edition Technical Memo 74/4. CSIRO Aust. Div. of Land Res. pp. 45.

KRANTZ, B.A. 1980. Rainfall collection in the semi-arid tropics. US-Mexico Workshop on rainfall collection for agriculture in arid and semiarid regions. Tucson, Arizona. Sept. 10-12.

NAVA, P.R. 1986. Drenaje superficial de los suelos Vertisoles gleycos para la producción de maíz (*Zea mays* L.) en Quintana Roo. Tesis Profesional. Universidad Autónoma Agraria "Antonio Narro". Buenavista Saltillo, Coahuila, México. pp. 78.

PEREZ Z., O. 1983. Sub-utilización de los suelos de drenaje lento (Vertisoles gleycos) del estado de Q.Roo. Proyecto de Investigación. Mimeógrafo. Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas. SARH. México.

**PEREZ Z., O.** 1984. Estrategias de investigación en suelos arcillosos del trópico mexicano. In: Memoria del Taller sobre Investigación en Sistemas Agrícolas. 7-8 Febrero. Oaxaca, Oax. Publicación Especial. Campo Exp. Cotaxtla, SARH. México.

**PEREZ Z., O.** 1985a. Zonificación agroclimática de los suelos arcillosos de Quintana Roo. Ia. Reunión Nacional sobre Manejo de Suelos Arcillosos y su implicación en la agricultura. Celaya, Gto. Octubre 1985.

**PEREZ Z., O.** 1985b. Manejo del suelo y del agua en el estado de Quintana Roo. Ia.

Reunión Nacional sobre Manejo de Suelos Arcillosos y su implicación en la agricultura. Celaya, Gto. Octubre 1985.

**VIRMANI, S.M.** 1975. The agricultural climate of Hyderabad region in relation to crop planning (A sample analysis). In-house publication of ICRISAT, Hyderabad, India.

**VIRMANI, S.M., M.V.K. SIVAKUMAR y S.J. REDDY.** 1982. Rainfall probability estimates for selected locations of semiarid India. Research Bulletin No. 1. ICRISAT. Patancheru, P.O. Andhra Pradesh, 502324 India.

## SISTEMA INTEGRADO DE DIAGNOSTICO Y RECOMENDACION (DRIS), UNA ALTERNATIVA EN LA DIAGNOSIS NUTRIMENTAL DEL TRIGO

The System DRIS as Alternative in Nutritional Diagnosis of Wheat

J. G. Díaz de León T., R. Ugalde V. y C. Mejía A.

CEBAJ-CIFAP-Guanajuato-INIFAP  
Apdo. Postal 112, 38000 Celaya (Gto.)

### RESUMEN

Una de las herramientas más valiosas en el diagnóstico nutrimental es el análisis vegetal, y como una alternativa en su interpretación se presenta el método DRIS, el cual fue aplicado a un experimento de trigo ubicado en el municipio de Villagrán, Gto. durante el ciclo otoño-invierno (O-I) 1986-87, con la finalidad de verificar la validez de las normas establecidas y observar el efecto de las variedades y edad del tejido en la diagnosis.

Se sembraron las variedades de trigo Romuma y Salamanca, fertilizadas con los tratamientos dados por un factorial completo  $3^3$  (N 0-150-300, P 0-40-80, S 0-20-40 kg ha<sup>-1</sup>); se realizaron tres muestreos, a los 15, 30 y 58 días después de la emergencia analizándose N, P, K y S y calculando los índices DRIS en cada muestreo. Como resultado se pudo observar que la adición del elemento más limitante redundó en mayor rendimiento y al adicionar otro que estuvo en relativo exceso, el rendimiento disminuyó. El efecto de la variedad no se eliminó con el uso del DRIS, se observó que el 58% de las veces

las dos variedades tuvieron el mismo nutrimento como más limitante y 68% los mismos dos nutrimentos en el orden, por lo que persiste en un 30-40% de las veces una demanda nutrimental diferente entre variedades.

El diagnóstico nutrimental fue poco afectado por la edad del cultivo, aproximadamente la mitad de los diagnósticos mantuvo al nutrimento más limitante a través del ciclo, y en 100% de las veces dicho nutrimento ocupó el primer lugar en el orden DRIS durante dos muestreos y en el restante apareció en segundo lugar, lo que indica una estabilidad aceptable del diagnóstico a lo largo del ciclo de cultivo.

Al comparar los métodos de diagnóstico de límites críticos con DRIS se encontró que con este último se hicieron 124 diagnósticos con 111 aciertos y 12 errores, mientras que con los límites críticos usados fueron 61 diagnósticos con 51 aciertos y 10 errores, lo que dio una diferencia neta de 133263 kg de aumento a la producción con todos los diagnósticos hechos con DRIS sobre los realizados con límites críticos, tomando como base la superficie de una hectárea.

Palabras clave: Nutrición, Diagnóstico, Trigo, Análisis vegetal, DRIS, Limite crítico.

Recibido 6-88.

## SUMMARY

In nutritional diagnosis one of the most important techniques is plant tissue analysis. The system DRIS was presented as an alternative. It was applied to a wheat experiment located in Villagran, Guanajuato, Mexico during 1986-87 to test whether the established norms are capable of making a valid diagnosis and to observe the effect of varieties and age of tissue on diagnosis. Two wheat varieties were used: Romuma and Salamanca fertilized with the following levels of factors; N (0-150-300 kg ha<sup>-1</sup>), P (0-40-80 kg ha<sup>-1</sup>) and S (0-20-40 kg ha<sup>-1</sup>) in a 3<sup>3</sup> factorial experiment. Three plant samples were collected at 15, 30 and 58 days after germination for plant analysis N, P, K, S and for calculation of DRIS indices in each sample. Results indicated that application of the most limiting nutrient increased yields. The application of another nutrient in relative excess decreased yields. The effect of the variety on the diagnosis was not eliminated using the DRIS system; 58% of the time two varieties had the same most limiting nutrient and 68% of the time the same two most limiting nutrients. The effect of age of tissue on diagnosis was reduced with the DRIS system. The DRIS diagnosis was consistently better than the critical value approach, with DRIS 124 diagnoses were made, 111 were successful and 12 failed. Using the critical value approach there were 61 diagnoses, 51 were successful and 10 failed. Results indicated 225167 kg of accumulated yield suitable for diagnosis using DRIS.

Index words: Nutrition, Diagnosis, Wheat, Plant analysis, DRIS, Critical Value.

## INTRODUCCION

Existen varias aproximaciones enfocadas al conocimiento del estado nutrimental de las plantas e indudablemente uno de los procedimientos más valiosos es el análisis vegetal, el cual puede convertirse en una herramienta de gran utilidad en la consecución de dicho conocimiento, siempre y cuando

se disponga de procedimientos adecuados para realizar el diagnóstico a partir de los datos analíticos. Lo anterior es importante, puesto que la interpretación del análisis vegetal puede ser complicada debido a que la composición nutrimental de la planta es muy dinámica a través del ciclo influyendo para ello procesos tales como edad del tejido, interacciones entre nutrimentos e interrelaciones con manejo y clima.

Los métodos de diagnóstico comúnmente usados se basan en la comparación con valores estándar que son fijados en una etapa fisiológica bien definida y bajo ciertas condiciones ambientales dadas, lo que enmarca determinadamente cuando y que parte de la planta debe ser muestreada; generalmente la etapa de definición de los valores estándar es tardía en la estación de crecimiento para que una aplicación de fertilizantes resulte efectiva y se traduzca en un incremento al rendimiento.

Una alternativa para interpretar los resultados del análisis vegetal es el Sistema Integrado de Diagnóstico y Recomendación (DRIS) propuesto por Beaufils (1973). Este autor encontró que las concentraciones relativas a peso seco variaban con la edad de la planta, mientras que las relaciones nutrimentales permanecían casi constantes, a este y a otros factores de variación como variedad y posición de la hoja en la planta, mostrando así ciertas ventajas sobre los métodos convencionales de interpretación del análisis vegetal.

## REVISION DE LITERATURA

La metodología DRIS es para determinar los tipos de fertilizantes y otros tratamientos requeridos (ej. prácticas culturales) por un cultivo dado en un sitio dado y aumentar la posibilidad de obtener altos rendimientos (Sumner, 1982).

Entre las ventajas del sistema DRIS sobre otras técnicas de diagnóstico se anotan las siguientes (Sumner, 1978): (1) toma en cuenta el balance nutrimental en ambos, suelo y planta;

(2) para ambos, suelo y planta, factores nutrimentales pueden ser colocados en orden de importancia limitativa sobre el rendimiento; (3) puede hacer válida la diagnosis en material vegetal de un amplio rango de variaciones en edad de la hoja muestreada y su posición en la planta, variedad y condiciones ambientales al momento del muestreo; (4) las normas foliares son desarrolladas de una población suficientemente amplia de observaciones y son aplicables universalmente; (5) existen datos que pueden ser utilizados en desarrollar normas y en cuanto existan nuevos datos, el sistema puede ser continuamente actualizado.

El efecto de la edad del tejido en la diagnosis siempre ha causado problemas debido al efecto de dilución. La razón del sistema DRIS para hacer diagnosis a diferentes etapas de crecimiento radica en el uso de relaciones nutrimentales, con las cuales se reduce la variación causada por el componente materia seca el cual se acumula con la edad y causa una dilución del contenido nutrimental (Sumner, 1977a).

Beaufils (1973) presentó datos con los cuales indicó que algunos nutrimentos como nitrógeno, fósforo y potasio disminuyen su concentración con la edad, mientras que otros como el calcio pueden incrementarla cuando son expresados en base a materia seca. Este efecto puede ser grandemente reducido por la selección apropiada de la forma de expresión, que pueden ser relaciones nutrimentales o posiblemente productos como el caso del calcio. Los coeficientes de correlación encontrados por Beaufils (1973) para N%, P% y K% en base a materia seca con la edad del tejido fueron -0.64, -0.50 y -0.74, respectivamente, disminuyendo de manera muy marcada cuando se correlacionaron relaciones nutrimentales como N/P, N/K y K/P cuyos coeficientes en el mismo orden fueron 0.046, 0.256 y -0.117 con la edad. Esto significa que las relaciones, al estar menos correlacionadas con la edad, permanecen más estables a lo largo del ciclo de cultivo que las concentraciones porcentuales.

Existen varios trabajos en los que se puede observar como el efecto de la edad sobre la

diagnosis es mínimo en varios cultivos: maíz (Sumner, 1982), caña de azúcar (Sumner y Beaufils, 1975), soya (Sumner, 1977b).

La posibilidad de hacer una diagnosis válida con DRIS, independientemente de la variedad, ha sido presentada en varias publicaciones: caña de azúcar (Meyer, 1975), soya (Sumner, 1977b), trigo (Sumner, 1977a), y el efecto de la posición de la hoja muestreada sobre la planta puede también tener un efecto limitado sobre los resultados del diagnóstico cuando se usa el DRIS, así como la porción de la hoja muestreada (Sumner, 1977c).

Los índices DRIS tienen signos positivos y negativos, los cuales suman cero y miden entonces el grado de desbalance nutrimental. El orden de requerimientos de la planta es una característica sobresaliente del DRIS sobre otros métodos de diagnóstico; el elemento más requerido es indicado por número negativo más lejano al cero y el menos requerido por el número positivo más lejano al cero; existe información completa al respecto en Beaufils (1973) y Sumner (1982).

En muchos casos los diversos tipos de diagnóstico pueden dar el mismo resultado que el DRIS, pero en muchos otros el DRIS hace válido el diagnóstico cuando otras metodologías fallan, o bien el incremento en rendimiento que se obtiene cuando la recomendación está hecha en base a DRIS, es mayor que con las otras metodologías; como ejemplo están los trabajos de Meldal-Johnsen y Sumner (1980), Sumner (1979) y Elwali y Gascho (1983) en los cuales se compara el DRIS con los límites críticos y los rangos de abastecimiento.

Cuando se realice una recomendación, es importante mencionar que los índices DRIS en la planta indican el balance nutrimental en ella, el cual establece lo que es demandado por la planta en un sitio dado. Estos índices no indican la naturaleza y cantidad de un elemento en particular que se deba adicionar al suelo. La respuesta de la planta es función de las propiedades del suelo y respuesta del suelo al tratamiento (Beaufils, 1973). El

tratamiento al suelo es parte del sistema dinámico suelo/planta/ambiente, lo que ocasiona una reacción en cadena, y deberán tomarse en cuenta esas interrelaciones (Sumner, 1982). La acción correctiva no sólo es función de la diagnosis, sino también de importantes cualidades subjetivas tales como conocimiento, experiencia, capacidad de observación etc., del diagnosticador (Beaufils, 1971).

### OBJETIVOS

Obtener el orden de requerimientos nutrimentales de acuerdo a su importancia limitativa en el rendimiento, para verificar la validez de las normas DRIS establecidas para trigo.

Observar el efecto que tienen las variedades y la edad del tejido en la diagnosis nutrimental.

Comparar el diagnóstico DRIS con el límite crítico.

### MATERIALES Y METODOS

Se utilizó la información de un experimento de trigo sembrado durante el ciclo otoño-invierno de 1986-87, ubicado en el municipio de Villagrán, Gto.

El diseño experimental fue bloques al azar con arreglo en parcelas divididas: la parcela grande estuvo formada por las variedades Romuma y Salamanca; la parcela chica correspondió a los nutrimentos nitrógeno, fósforo y azufre con los siguientes niveles en kg ha<sup>-1</sup>: N 0-150-300, P 0-40-80 y S 0-20-40 con los cuales se formó un factorial completo 3<sup>3</sup>, con dos repeticiones cada tratamiento. La densidad de siembra fue de 120 kg de semilla por hectárea. Las dimensiones de la parcela total fueron 5x2.40 m = 12 m<sup>2</sup>, reduciéndose la parcela útil a 4x1.20 m = 4.8 m<sup>2</sup>.

El suelo en el cual se ubicó el experimento tuvo como cultivo anterior sorgo y presentó las siguientes características físico-químicas:

pH = 6.8, arcilla como textura, N = 0.087%, P = 17.77 ppm, K = 1503 ppm, Ca = 4068 ppm, Mg = 906 ppm. La fertilización se hizo en dos partes, la mitad del nitrógeno a la siembra (22 diciembre 1986) con todo el fósforo y el azufre, aplicándose la segunda mitad de nitrógeno en el primer riego de auxilio.

Se realizaron tres muestreos vegetales durante el desarrollo vegetativo a los 15, 30 y 58 días después de la emergencia. Como material de análisis se utilizó toda la parte aérea de la planta, determinándose en cada muestreo los nutrimentos nitrógeno, fósforo, potasio y azufre, por los siguientes métodos: N (Kjeldahl), P (colorimetría), K (absorción atómica) y S (turbidimetría, BaCl<sub>2</sub>). Con los resultados analíticos anteriores y las normas vegetales para trigo, establecidas por Sumner (1981) y derivadas de una población de 1500 observaciones (Cuadro 1), se procedió al cálculo de los índices DRIS.

Ecuaciones para el cálculo de los índices para N, P, K, S.

$$N \text{ índice} = \frac{f(N/P) + f(N/K) - f(S/N)}{X}$$

$$P \text{ índice} = \frac{-[f(N/P) + f(K/P) + f(S/P)]}{X}$$

$$S \text{ índice} = \frac{f(S/N) + f(S/K) + f(S/P)}{X}$$

donde: X = número de funciones en el numerador

Cuadro 1. Normas DRIS para trigo, generadas de la subpoblación de plantas de altos rendimientos.

Relación	Media	CV (%)	Desviación estándar
n/p	12.740	22	2.803
n/k	1.450	20	0.290
k/p	8.800	17	1.496
s/n	0.068	19	0.013
s/p	0.870	22	0.191
s/k	0.101	25	2.525

$$\text{Usar: } f(N/P) = \frac{(N/P - 1) \cdot 1000}{(n/p) \cdot CV}$$

cuando  $N/P > n/p$

$$y: f(N/P) = \left( 1 - \frac{n/p}{N/P} \right) \frac{1000}{CV} \text{ cuando } N/P < n/p$$

En donde  $N/P$  es el valor actual de la relación  $N(\%)$  y  $P(\%)$  en la muestra bajo diagnosis,  $n/p$  es el valor de la norma (la cual proviene del valor medio de  $N/P$  para una subpoblación de altos rendimientos),  $CV$  es el coeficiente de variación de la subpoblación de plantas con altos rendimientos, 1000 es el producto de  $100 \times 10$ , donde 100 es el denominador del  $CV$  expresado como porcentaje y 10 es una constante para manejo de magnitudes adecuadas (Walworth y Sumner, 1987). Las otras funciones se calculan de forma similar usando los correspondientes valores de  $X/Y$  y  $x/y$ .

## RESULTADOS Y DISCUSION

Al iniciar una diagnosis progresiva con el tratamiento testigo  $N = 0, P = 0$  y  $S = 0$  kg  $ha^{-1}$ , en el Cuadro 2 se puede observar como

este tratamiento en la variedad Romuma presentó como nutrimento más limitante en rendimiento al nitrógeno, de tal forma que al añadirle 150 kg  $N ha^{-1}$ , el rendimiento se incrementó sustancialmente, pero aún siguió siendo el nitrógeno el más limitativo, por lo que al pasar a la siguiente dosis de 300 kg  $N ha^{-1}$  se incrementó nuevamente el rendimiento, quedando ahora como elemento más limitativo el fósforo que al ser adicionado en su nivel 40 kg  $ha^{-1}$  produjo un aumento en el rendimiento; terminada aquí la diagnosis progresiva puesto que el más limitante en el tratamiento 300-40-00 es el nitrógeno y la dosis más alta aquí probada fue de 300 kg  $ha^{-1}$ . De igual manera se hizo la diagnosis progresiva para la variedad Salamanca incrementándose el rendimiento cada vez que se añadió el elemento más limitante de acuerdo al diagnóstico con el método DRIS.

Otro aspecto que puede ser detectado por esta metodología es el de distinguir un tratamiento apropiado de uno inapropiado en función del elemento más limitante señalado en el diagnóstico. En el Cuadro 3, el tratamiento  $N = 0, P = 0, S = 0$  kg  $ha^{-1}$  se indica que el elemento más limitante es el nitrógeno para la variedad Salamanca, por lo que al añadir 150 kg  $N ha^{-1}$  el cambio en rendimiento fue de 1645 a 4948 kg  $ha^{-1}$ , la adición del nutrimento

Cuadro 2. Diagnosis nutrimental progresiva para dos variedades de trigo, con datos del primer muestreo (15 días después de la emergencia).

Tratamiento			Composición planta (%)				Indices DRIS				Orden de requerimientos	Rendimiento
N	P	S	N	P	K	S	N	P	K	S		to
kg $ha^{-1}$												kg $ha^{-1}$
R o m u m a												
0	0	0	3.41	0.58	5.54	0.36	-50	22	32	-4	N > S > P > K	1667
150	0	0	5.17	0.47	6.41	0.45	-21	-9	30	0	N > P > S > K	4573
300	0	0	5.51	0.40	5.60	0.54	-14	-20	20	15	P > N > S > K	6417
300	40	0	5.46	0.54	6.18	0.41	-16	1	24	-8	N > S > P > K	6521
S a l a m a n c a												
0	0	0	3.70	0.61	5.20	0.27	-35	32	29	-26	N > S > K > P	1645
150	0	0	5.26	0.61	6.61	0.36	-21	10	30	-19	N > S > P > K	4948
300	0	0	5.66	0.44	6.04	0.23	3	-1	43	-46	S > P > N > K	6104
300	0	20	5.71	0.44	4.62	0.27	5	2	16	-24	S > P > N > K	6250
300	0	40	5.54	0.44	6.65	0.27	-6	-8	46	-33	S > P > N > K	6313

Cuadro 3. Tratamientos inapropiados para la variedad de trigo Salamanca, con resultados del primer muestreo.

Tratamiento			Composición planta (%)				Indices DRIS				Orden de re-	Rendimiento
N	P	S	N	P	K	S	N	P	K	S	querimientos	
kg ha <sup>-1</sup>												
Tratamientos apropiados												
0	0	0	3.70	0.61	5.20	0.27	-35	32	29	-26	N > S > K > P	1645
150	0	0	5.26	0.61	6.61	0.36	-21	10	30	-19	N > S > P > K	4948
300	0	0	5.66	0.44	6.04	0.23	3	-1	43	-46	S > P > N > K	6104
Tratamientos inapropiados												
0	40	0	3.98	0.61	5.49	0.27	-31	29	31	-29	N > S > P > K	1594
150	0	40	4.60	0.58	5.85	0.36	-26	12	26	-12	N > S > P > K	4438
300	40	0	4.89	0.47	6.00	0.31	-15	0	34	-18	S > N > P > K	5833

más limitante es un tratamiento apropiado cuando se traduce en un aumento del rendimiento, sin embargo, en el mismo tratamiento testigo N = 0, P = 0 y S = 0 kg ha<sup>-1</sup> se presenta el tratamiento inapropiado que es la adición de fósforo en lugar del nitrógeno. En este caso la adición de un elemento que no es el más limitante produjo disminución en el rendimiento de 1645 a 1594 kg ha<sup>-1</sup> en comparación al tratamiento testigo. De la misma manera se presentan dos tratamientos equivocados para la dosis de 150 y 300 kg ha<sup>-1</sup> donde se aplicó un nutrimento que no fue diagnosticado como el más limitante y como consecuencia se observó que los rendimientos disminuyeron.

Es muy común encontrar una absorción diferencial de nutrimentos por parte de las variedades, lo que comúnmente hace que la fertilización sea también diferente, sin embargo, Sumner (1977a) presenta datos en los cuales se puede ver que el efecto de la variedad se minimiza con el uso del sistema DRIS, y recomienda que se use independientemente de la variedad.

En el presente trabajo se pudo observar que el efecto de la variedad no se eliminó con la metodología DRIS. De un total de 81 diagnósticos provenientes de tres muestreos en 27 tratamientos, se encontró que en 46 ocasiones el diagnóstico indicó el mismo

nutrimento más limitante para ambas variedades y 58 veces coincidieron los dos nutrimentos más limitantes en las dos variedades usadas. En el Cuadro 4 se presentan algunos de los tratamientos con su respectivo orden de requerimientos encontrado en tres etapas de muestreo para dos variedades de trigo y los que a su vez indican el efecto de variedad mencionado como mínimo por Beaufils (1973) y Sumner (1977a), pero en este caso la variedad Salamanca muestra una demanda de azufre mayor que Romuma; de 81 diagnósticos Salamanca tuvo 50 con el azufre como más limitante y Romuma sólo 19. El efecto de la edad del tejido siempre ha dado problemas en su interpretación, debido a que algunos nutrimentos como N, P, S disminuyen su concentración con la edad, efecto conocido como dilución nutrimental, y razón por la cual los límites críticos no pueden ser usados a todo lo largo de la estación de crecimiento, sino que se limitan a que el muestreo se realice en la misma etapa para que la comparación sea equitativa. En el caso del Sistema Integrado de Diagnóstico y Recomendación (DRIS), Sumner (1977a) escribió que este sistema da validez al diagnóstico realizado en cualquier etapa de muestreo y desarrollo del cultivo. Al observar el Cuadro 4 se puede inferir que el efecto de la edad se ve reducido por el método de diagnóstico DRIS. En la variedad Romuma es claro que el nitrógeno fue el elemento más limitante y para el caso de la variedad

Cuadro 4. Orden de requerimientos nutrimentales en los tratamientos usados para observar el efecto de la variedad y edad de la planta en la diagnosis nutrimental del trigo.

Variedad	Tratamiento			Edad (días después de la emergencia)		
	N	P	S	15	30	58
	kg ha <sup>-1</sup>					
Romuma	0	0	0	N > S > P > K	N > K > P > S	N > S > K > P
	0	40	40	N > K > P > S	N > K > P > S	N > S > K > P
	0	80	20	N > S > P > K	N > K > P > S	N > S > K > P
	150	0	0	N > P > S > K	N > P > S > K	S > N > K > P
	150	40	40	N > S > P > K	N > P > S > K	S > N > K = P
	150	80	40	N > S > K > P	N > K > S > P	S > N > K > P
	300	0	20	N > P > K > S	N > P > S > K	S > N > P > K
	300	40	40	S > N > P > K	N > P > S > K	N > S > P > K
	300	80	20	S > N > P > K	N > S > K > P	S > N > K > P
Salamanca	0	0	0	N > S > K > P	N > S > K > P	S > N > K > P
	0	40	40	N > S > K > P	N > K > S > P	N > S > K > P
	0	80	20	N > S > K > P	N > S > K > P	N > S > K > P
	150	0	0	N > S > P > K	S > N > K > P	S > N > K > P
	150	40	40	S > N > K > P	N > S > K > P	S > N > K > P
	150	80	40	N > S > K > P	S > N > K > P	S > N > K > P
	300	0	20	S > P > N > K	S > N > K > P	S > N > P > K
	300	40	40	S > N > P > K	S > N > K > P	S > N > K > P
	300	80	20	S > N > P > K	S > N > K > P	S > N > K = P

Salamanca, prácticamente el nitrógeno fue el más limitante cuando se aplicaron 0 y 150 kg N ha<sup>-1</sup> pero al aplicar la dosis de 300 kg N ha<sup>-1</sup> el nutriente más limitante fue el azufre. En ambas variedades se puede distinguir, en varios casos, que durante los muestreos uno y dos el nitrógeno aparece como el más limitante y en el muestreo tres surge el azufre; es muy probable que esto se explique con la segunda aplicación de nitrógeno, la que suprimió la demanda de este nutriente en la etapa del muestreo tres. Este efecto de la edad de la planta sobre la diagnosis nutrimental en varias publicaciones ha sido mencionado como poco relevante (Beaufils, 1973; Sumner, 1979; Sumner y Beaufils, 1975).

La razón de que el sistema DRIS realice diagnosis a diferentes etapas de crecimiento radica en que al tomar una relación nutrimental x/y en lugar de las concentraciones

porcentuales, el efecto del componente materia seca, el cual se acumula con la edad y produce una dilución del contenido nutrimental, es reducido como se observa en la Figura 1.

Con la finalidad de evaluar la eficiencia del diagnóstico realizado con el Sistema Integrado de Diagnóstico y Recomendación en comparación con la metodología tradicional, se tomaron los valores críticos de Melsted *et al.* (1969) N = 2.6%, P = 0.3%, K = 1.8% y Spencer y Freney (1980) S = 0.15%.

Con estos valores y el elemento más limitante del diagnóstico DRIS se construyó el Cuadro 5 que concentra todos los diagnósticos posibles para los datos de los tres muestreos en las dos variedades Romuma y Salamanca. Distinguiendo el acierto como aquel o aquellos tratamientos que diagnosticados deficientes por límite crítico y el más limitante con DRIS

Cuadro 5. Resultados de los diagnósticos realizados con dos metodologías en tres muestreos de 27 tratamientos de fertilización en dos variedades de trigo.

Método	Nutrimento	Número de diagnósticos	Aciertos		Errores	
			No.	$\Delta y^{1)}$	No.	$-\Delta y^{2)}$
DRIS	N	78	77	216204	1	- 74
	P	1	1	104	0	0
	S	45	33	8859	12	-3997
Totales		124	111	225167	13	-4070
límite crítico	N	30	29	84207	1	- 73
	P	0	0	0	0	0
	S	31	22	6479	9	-2779
Totales		61	51	90686	10	-2852

1) Cambio en rendimiento (kg) acumulado del número de diagnósticos acertados

2) Cambio en rendimiento (kg) acumulado del número de diagnósticos equivocados

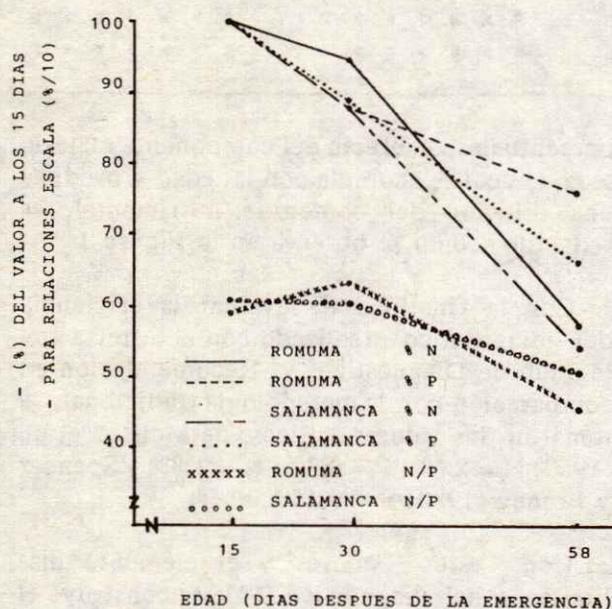


Figura 1. Variación porcentual de contenidos de N, P y su relación en función de la edad del tejido, calculados a partir del contenido nutricional a los 15 días de haber emergido la planta de trigo (tratamiento N = O, P = O, S = O kg ha<sup>-1</sup>).

incrementaron su rendimiento al añadir el elemento deficiente o limitante, el error entonces es cuando la aplicación de un nutrimento diagnosticado como limitante disminuyó la producción.

Es importante resaltar la ventaja del DRIS para hacer diagnosis en cualquier etapa de cultivo, de ahí la gran diferencia en el número de diagnósticos realizados con DRIS y límite crítico. Este último no es capaz de detectar diferencias en etapas tempranas si el valor límite fue determinado en una etapa posterior, esto es debido al ya mencionado efecto de dilución, de aquí la ventaja del DRIS que reduce este efecto tomando en cuenta el factor materia seca. Al observar las cantidades de rendimientos acumulados (cada diagnóstico está referido a una hectárea), logrados en cada uno de los sistemas de diagnóstico, se nota una gran diferencia de 134481 kg ha<sup>-1</sup> a favor de los trabajos realizados con DRIS y una mínima diferencia para la cantidad acumulada, producto de los errores lo que indudablemente muestra las ventajas de utilizar el DRIS como mecanismo de diagnóstico en trigo (Cuadro 5).

Cuadro 6. Diferencia entre presentar el orden de requerimientos y los nutrimentos deficientes en dos metodologías de diagnóstico. Datos del muestreo tres. Variedad Romuma.

Tratamiento			Método de Diagnóstico		Rendimiento
N	P	S	DRIS	Límite crítico	
	kg ha <sup>-1</sup>				kg ha <sup>-1</sup>
0	0	0	N > S > K > P	N, S	1667
150	0	0	S > N > K > P	S	4573
0	0	40	N > S > K > P	N, S	1615

La eficiencia de los diagnósticos DRIS fue un incremento de 1783 kg ha<sup>-1</sup> y con límites críticos 1440 kg ha<sup>-1</sup>, por cada diagnóstico realizado.

Cuando se presenta el orden de requerimientos en un diagnóstico nutrimental, tiene la ventaja de conocer al nutrimento al que más fácilmente puede responder la planta con incrementos en su rendimiento a diferencia de sólo indicar los nutrimentos deficientes, puede darse la situación de que al añadir un nutrimento clasificado como deficiente no se aumente la producción debido a que existe otro que es requerido con prioridad, puesto que el concepto de balance es muy importante. De esta manera se presenta un ejemplo en el Cuadro 6 donde la adición de azufre, que fue diagnosticado como deficiente por la metodología de límite crítico, no produjo aumento del rendimiento porque el nitrógeno fue el más limitante y su adición sí fue positiva.

### CONCLUSIONES

Las normas DRIS establecidas para trigo pueden ser usadas para diagnosticar su estado nutrimental, con ventajas sobre la metodología del límite crítico.

El efecto de la variedad en la diagnosis no se eliminó con DRIS, la variedad Salamanca demandó más azufre que la variedad Romuma.

El efecto de la edad del tejido no fue muy marcado en la diagnosis, por lo que se pudo detectar cuales nutrimentos fueron los limitantes a lo largo del ciclo del cultivo.

El orden de requerimientos nutrimentales de acuerdo a su importancia limitativa en el rendimiento es fundamental en la consecución de mayores rendimientos.

### AGRADECIMIENTOS

Por su participación en diversos aspectos de este trabajo al Dr. Rodrigo Aveldaño Salazar, Q.I. Beatriz Hurtado García, M.C. Sergio Enriquez Reyes.

### LITERATURA CITADA

BEAUFILS, E.R. 1971. Physiological diagnosis. A guide for improving maize production based on principles developed for rubber trees. Univ. of Natal Pieter Maritzburg. South Africa.

BEAUFILS, E.R. 1973. Diagnosis and recommendation integrated system (DRIS). Soil Science Bull No. 1. University of Natal, S. Africa.

**ELWALI, A.M.O. y G.J. GASCHO.** 1983. Foliar critical nutrient levels and DRIS norms as guides for sugarcane fertilization. In: Proc./memorias Interamerican sugarcane seminars. Soil fertility and management at Fla. Int. Univ. Miami. Fla. Oct. 5-7.

**MELDAL-JOHNSEN A. y SUMNER, M.E.** 1980. Foliar diagnostic norms for potatoes. *J. of Plant Nutrition* 2(5): 569-576.

**MELSTED, S.W., H.L. MOTTO y T.R. PECK.** 1969. Critical plant nutrient composition values useful in interpreting plant analysis data. *Agron. J.* 61:17-20.

**MEYER, J.H.** 1975. Advances in the interpretation of foliar analysis of sugarcane in the South African sugar industry. *Procc. of the South African Sugar Tech. Ass.* (Jun/Jul).

**SPENCER, K. y J.R. FRENEY.** 1980. Assessing the sulfur status of field grown wheat by plant analysis. *Agron. J.* 72:469-472.

**SUMNER, M.E.** 1977a. Preliminary N,P,K, foliar diagnostic norms for wheat. *Comm. in Soil Science and Plant Anal.* 8(2):149-167.

**SUMNER, M.E.** 1977b. Preliminary N,P,K, foliar diagnostic norms for soybeans. *Agronomy Journal* 69:226-230.

**SUMNER, M.E.** 1977c. Effect of corn leaf sampled on N,P,K, Ca and Mg content and calculated DRIS indices. *Comm. in Soil Sci. and Plant Analysis.* 8(3):269-280.

**SUMNER, M.E.** 1978. The DRIS approach to recommendations based on leaf and soil analysis. North Central Extention Industry Soil Fertility Workshop. St Louis, Missouri. Nov. 2.

**SUMNER, M.E.** 1979. Interpretation of foliar analysis for diagnostic purposes. *Agron. J.* 73:343-348.

**SUMNER, M.E.** 1981. Diagnosing the sulfur requirements of corn and wheat using foliar analysis. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 45(1):87-90.

**SUMNER, M.E.** 1982. The diagnosis and recommendation integrated system (DRIS). *Soil/Plant Analysts' Seminar. Council on Soil Testing and Plant Analysis.* Anaheim, C.A.

**SUMNER, M.E. y E.R. BEAUFILS.** 1975. Diagnosis of the N, P, K, requirements of sugarcane irrespective of plant age and season using Beaufils System (DRIS). Preliminary observations. *Procc. of the South African Sugar Tech. Ass.* (Jun/Jul).

**WALWORTH, J.L. y M.E. SUMNER.** 1987. The diagnosis and recommendation integrated system DRIS. *Adv. in Soil Sci.* 6:151-188.

DIVISION III

**I**nfluencia de dos sistemas de labranza en la rotación trigo-soya en el norte de Sinaloa.

J. L. MENDOZA R. y  
R. ACOSTA S.

52

Sistema de drenaje superficial y sus posibilidades de implementación en suelos arcillosos de Quintana Roo.

O. PEREZ-ZAMORA

59

Sistema integrado de diagnóstico y recomendación (DRIS), una alternativa en la diagnosis nutrimental del trigo.

J. G. DIAZ DE LEON T., R. UGALDE V.  
y C. MEJIA A.

69